과제번호
317017-03

과제명

저비용
고효율을
위한

재배베드
시스템

공조
시스템

인공광원
시스템

센씽
시스템의

표준화
기술개발

최
종
보
고
서

2019

농
림
축
산
식
품
부

농림식품기술기획평가원

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )발간등록번호(O)

첨단기술개발사업 2019년도 최종보고서

발간등록번호
11-1543000-003125-01

과제명 : 저비용·고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조 시스템, 인공광원 시스템, 센씽 시스템의 표준화 기술개발

최종보고서

2020. 07 . 10.

주관연구기관 / ㈜인성테크
협동연구기관 / ㈜신성이엔지
협동연구기관 / ㈜엔씽
협동연구기관 / ㈜디엠엘이디
협동연구기관 / ㈜에코바이오텍
협동연구기관 / 한경대학교

농 림 축 산 식 품 부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "저비용·고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조 시스템, 인공광원 시스템, 센싱 시스템의 표준화 기술개발"(개발기간 : 2017. 04. ~ 2019. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020 . 2 . 13 .

주관연구기관명 : ㈜인성테크	(대표자) 김인수
협동연구기관명 : ㈜신성이엔지	(대표자) 이지선
협동연구기관명 : ㈜디엠엔이디	(대표자) 박병관
협동연구기관명 : ㈜엔씽	(대표자) 김혜연
협동연구기관명 : ㈜에코바이오텍	(대표자) 구자춘
협동연구기관명 : 한경대학교 산학협력단	(대표자) 강태석 (인)

주관연구책임자 : 김 인 수
협동연구책임자 : 윤 종 보
협동연구책임자 : 박 성 배
협동연구책임자 : 백 정 훈
협동연구책임자 : 조 현 호
협동연구책임자 : 이 창 희

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	317017-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2017. 04. 21 - 2019. 12.31	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연 구 사 업 명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	저비용·고효율을 위한 재배베드 시스템, 공조 시스템, 인공광원 시스템, 센씽 시스템의 표준화 기술개발			
	세부 과제명				
연 구 책 임 자	김 인 수	해당단계 참여연구원 수	총: 31명 내부: 31명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 600,000 천원 민간: 258,000 천원 계: 858,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 31 명 내부: 31 명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 1,650,000 천원 민간: 709,000 천원 계: 2,359,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	주식회사 인성테크			참여기업명 : ㈜신성이엔지/㈜디엠엘이디/(주)엔씽/(주)에코바이오텍/한경대학교 산학협력단	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위 탁 연 구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	6	5									

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

〈요약문〉

연구의 목적 및 내용

○ 연구최종목표 : 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템 개발

- 본 연구를 통해 식물공장 생산시스템의 현장 보급을 위해 실질적인 모델화 구축
- 재배베드의 각 요소별 양산체계 확립을 통하여 초기 구축비 절감
- 재배베드에 각 요소별 유지보수의 간편화를 위한 모듈화 제작
- 재배 환경 구성 요소(센싱, 공조)에 대한 최적화 상품화
- 양액 재배의 특성을 고려한 기능 재배에 대한 연구
- 최종 기술개발의 목표와 결과

	연구 목표	연구 수행 결과
재배베드 시설	○ 재배프레임의 단순 조립구조와 하중을 고려한 제작	- 알루미늄 파이프의 '□' 홈 구조로 높은 단 구성이 보강이 가능하도록 재배베드 개발 - 기류형성이 가능하도록 재배베드 프레임 개발
	○ 반영구적인 재배 거터라인 설계와 운송이 가능한 조립 구조	- 재배 거터라인은 스트로폼/SUS/철제 가공품이 아닌 ABS 금형화 형태로 반영구적으로 사용이 가능하고, 재배 거터라인끼리 조립이 가능한 부품화로 길이와 이동에 애로사항이 없도록 개발 - 수확 보조시스템 연계 가능한 구조의 제품 개발
	○ 독립적인 재배 시스템과 양액제어 시스템 개발	- 기존 재배 시설의 벤츄리 타입의 양액 원액 혼합방식에서, 1 cc/sec 단위로 양액 원액 투입 방식의 시스템 개발을 통하여 최적의 배양액 수치 조절 가능하도록 개발
	○ 식물 재배에 필요한 기류 형성 반영	- 별도의 순환 FAN이나 수평구조의 기류 형성이 아닌, 상승기류를 활용한 균일한 기류 발생 시스템 개발
	○ 경제성을 고려한 양산형 인공광원 선정	- PKG PCB/HEATSINK/SMPS를 결합 시 1개의 Bar 형태로 제품 개발 - 별도 공구 없이 재배프레임과 결합이 될 수 있도록 구조로 제작 - 120 PPFD, 36V/23W 사양과 배광(140도)/균제도(70% aver/max)
	○ 각 파트 구성으로 파	- 재배프레임, 인공광원, 재배 거터

		트의 조합과 유지보수가 편리하도록 재배베드 설계		라인, 양액제어 시스템, 재배 시스템 각 파트별 구성으로 단순 볼트 조립으로 분해/조립이 가능하여 잔존 가치 확보
	환경제어부	공조시스템	○ CFD를 이용한 공조환경 최적화와 냉난방 공조 시스템 설계 ○ 공조 시스템의 저가 시스템과 에너지 절감형 시스템 실증평가	- CFD 기류시뮬레이션을 통하여 식물공장 균일도 개선과 풍량 최적화 시뮬레이션 진행을 통한 식물재배 공간 내 온도/습도 편차 최소화를 위한 환경 평가 - 밸브제어와 가습기 등의 불필요한 기존 기능의 제거로 원가절감과 BLDC 압축기를 적용하여 가변부하에 대응으로 기존 On/Off 운전방식 대비 소비전력 12% 감소로 에너지 절감형 항온 항습기 개발
	환경제어부	환경센싱시스템	○ 무선 릴레이제어 모듈개발	- RF통신범위 : 반경 50M 이내 - 최대부하 : 2,2kW(50-60Hz, 100V-250V)
	환경제어부	환경센싱시스템	○ RF통신 센서 모듈 개발	- 통합 센서 모듈 시제품 - RF 통신 범위 : 반경 50m 이내 - 동작온도 범위 : -20 ~ 80℃ - 온도센서 : -10 to 85℃(±0.4℃) - 습도센서 : 0 to 95%(±5% RH) - CO2센서 : 0 to 10,000 ppm(±30ppm, ±5%_
	환경제어부	환경센싱시스템	○ 실시간데이터 수집플랫폼 개발	- 데이터 수집 성능 : > 118 samples/min - 식물공장 관제 어플리케이션 - 각 센서 별 데이터 그래프 확인 - 기간별 전력 사용량 확인 - 냉난방/공조/LED 제어, 비상시 알람
	재배연구부	○ 활성 칼슘과 복합활성미네랄이 함유된 최적의 양액 제조 기술 개발 ○ 식물공장 재배작물의 기능성 성분확인과 양액관리 기술		- 식물공장 내 광원 조절에 따른 상추 'Fidel'의 생산성과 항산화능의 변화에 연구 결과 기존양액에 AMG 0.1%와 0.2%의 혼합시 초장, 초폭, 엽폭, 엽장, 엽수와 신초 생체중에 우수한 생장 특정을 나타남. - 식물 공장에서 케일의 생장 특성 및 글루코시놀레이트의 함량 증진 연구결과 (NH4)2SO4처리와 광원

		(R5:W5)조랍은 총 글루코시놀레이트와 케일의 주요 기능물질인 시니그린을 증가 시키는데 가장 적합함.
		- 식물공장내 광원 조절에 따른 바질의 생산성과 기능성 물질의 변화에 연구결과 다양한 LED처리구를 통한 생육 실험에서는 차이가 없었으며, B2:R3:W5의 특정 파장에서 생장된 바질이 폴리페놀 함량이 가장 높은 것으로 나타남

※ 연구 재배가 아닌 엽채류 재배 생산을 위한 알맞은 시스템 접목과 최적의 보급형 모델화

※ 식물공장 시스템 초기 구축 비용 1m² 당 720,000원에 구축비용 확보 / 기술과 시장선점(기존 목표 대비 130%단가 절감)

※ 케일과 바질의 기능성 물질 향상을 위한 재배 연구 진행

※ 공조 시스템의 고효율 평가 EER 3.3 (EER 2.7부터 고효율 인증) (한국냉동공조인증센터)

※ 사업화 5년내 매출신장 50억과 고용창출 10명 예상

○ 주관기관((주)인성테크)
- 1차년도 : 기존 재배 시스템의 응용 개발과 표준화
- 2차년도 : 식물공장 재배사 구축과 표준 설계
- 3차년도 : 전체 시스템의 실증 평가와 문제점 개선

○ 협동기관1((주)신성ENG) : 식물공장에 적합한 공조시스템 개발
- 1차년도 : CFD를 활용한 공조환경 평가와 최적화/냉난방 부하 최적 설계
- 2차년도 : 제품 개발/설치와 1차 실증 평가
- 3차년도 : BLDC 압축기를 적용한 가변부하 대응 공조시스템 개발

○ 협동기관2((주)디엠엘이디) : 식물공장에 최적화 인공광원 개발
- 1차년도 : 식물성장에 적합한 광스펙트럼, 광합성광양자속밀도 산출
- 2차년도 : 경제성을 고려한 제품 제작/설치와 성능평가
- 3차년도 : 식물재배용 광원 규격화와 안전인증 획득

○ 협동기관3((주)엔씽) : 식물공장에 환경센싱 시스템 개발
- 1차년도 : 무선 센서 모듈 및 데이터 수집 환경 개발
- 2차년도 : 식물공장 환경 데이터 수집 및 사용자 관제 어플리케이션 개발
- 3차년도 : 식물 공장 환경 및 전력 사용 데이터에 따른 자동화 제어 시스템 개발

	○ 협동기관4(에코바이오텍(주)) - 1차년도 : 활성칼슘, 복합 활성미네랄의 제조공정 확립 및 기존 양액비료와의 조성비 개발. 식물공장에서 생산할 대상작물(피델) 적용 최적의 양액 개발 연구 - 2차년도 : 활성칼슘, 복합 활성미네랄의 제조공정 확립 및 기존 양액비료와의 조성비 개발. 식물공장에서 생산할 대상작물(케일) 적용 최적의 양액 개발 연구 - 3차년도 : 활성칼슘, 복합 활성미네랄의 제조공정 확립 및 기존 양액비료와의 조성비 개발. 식물공장에서 생산할 대상작물(바질) 적용 최적의 양액 개발 연구 ○ 협동기관5(한경대학교) - 1차년도 : 식물공장에서 활성 미네랄 복합제와 LED를 이용하여 재배된 상추 ‘피델’의 생육단계 및 생육에 적합한 양액과 LED별 생장 특성 분석 - 2차년도 : 식물공장에서 황산암모늄을 양액에 첨가하여 케일의 기능성 성분으로 알려진 황화합물인 글루코시놀레이트의 증진 및 LED별 글루코시놀레이트 변화 분석 - 3차년도 : 식물공장에서 LED에 따른 바질의 생장 특성 및 오일 수율량과 오일 함량 분석
연구개발성과	○ 사업적 측면 - 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템 기술에 대한 기술 선점(특허 5건과 기술사업화) - 기능성 물질 향상의 재배력을 통하여 3종 이상의 재배기술 확보 - 사업화 5년 내 매출신장 50억과 고용창출 10명 예상 - 논문, 학술발표 등을 통한 연구기술선점 효과 ○ 경제적 측면 - 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템 기술 개발을 통한 새로운 농업의 시장창출과 선점 효과 - 식물공장 생산시스템을 통한 일자리 창출형 사업화 모델 제시 - 에너지절감형 항온항습기 적용을 통한 식물공장 운영비 절감 - 식물 공장 구축 시 부담될 수 있는 IoT 장비 및 플랫폼 구축 비용을 전용 시스템을 개발과 저가의 설비비용으로 서비스 제시 - 경제성이 높은 LED 조합처리구를 이용한 대상 작물의 기능성 물질 함량 증진으로 식물공장을 통한 재배 가능성 제시

<table>
<tr><td></td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td colspan="5">○ 기술적 측면
- 본 연구사업을 통한 보급형 식물공장 시스템에 대한 생산기술에 대한 기술선점 효과
- 제어 가능한 환경에서 어떤 작물이든 재배 가능한 지식 데이터 구축과 농가에서 활용 가능한 플랫폼 제공 효과
- 양액과 LED를 이용하여 식물공장 재배용 작물의 기능성물질을 향상시킴으로써 부가가치가 높은 작물재배기술 보급 효과

○ 경제적 측면
- 식물공장 시스템을 보급형 기술개발로 구축의 증대 효과
※ 식물공장 시스템의 증대는 새로운 식문화에 대한 확산 기대
※ 환경제어 기술을 통하여 다양한 분야에 활용 기대
※ 식물공장에서 안전농산물 생산에 의한 국민건강 기여로 경제적인 효과기대

○ 한국형 농업 데이터 지식을 구축하여 네덜란드/일본 중심의 농업 IT제품 대체 효과
※ 모듈형 센서 및 모니터링 플랫폼을 활용하여 필수 환경 수집 데이터를 확인하고, 관제시스템을 적용하여 실시간으로 제공받은 데이터를 통하여 농작물의 생산량 증대, 지출 감소 기대 또한, 해외 수출 기대</td></tr>
<tr><td>국문핵심어
(5개 이내)</td><td>식물공장</td><td>광원</td><td>전산유체역학</td><td>냉난방공조</td><td>양액재배</td></tr>
<tr><td>영문핵심어
(5개 이내)</td><td>Plant factory</td><td>light sources</td><td>computationalfluid dynamics</td><td>Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC)</td><td>Nutriculture</td></tr>
</table>

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의 개요 ········ 11
제 1 절 연구개발의 개요 ········ 11
제 2 절 국내외 특허 현황 ········ 21
제 3 절 연구개발 대상 기술의 중요성 ········ 24
제 4 절 연구개발의 목표 및 범위 ········ 26

제 2 장 연구수행 내용 및 결과 ········ 32
제 1 절 1차년도 연구수행 내용 ········ 32
제 2 절 2차년도 연구수행 내용 ········ 86
제 3 절 3차년도 연구수행 내용 ········ 155

제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ········ 225
제 1 절 목표달성 현황 ········ 225
제 2 절 연구개발결과에 따른 추가과제 도출 ········ 254

제 4 장 연구결과의 활용 계획 ········ 256
제 1 절 연구개발 결과의 활용 ········ 256
제 2 절 기대성과 및 파급효과 ········ 257
제 3 절 사업화 계획 ········ 259

제1장 연구개발과제의 개요

제1절. 연구개발의 개요

1. 연구개발의 필요성

(1) 본 연구의 타당성

○ 본 연구는 저비용.고효율 현장보급형 식물공장 시스템 개발과 모델 제시로 미래농업기술을 우한 연구 개발이며, 도심의 지하공간, 폐공간의 증가와 안정적인 농산물 수급등의 다양한 분야로 새로 적용 될 수 있는 미래농업기술의 기반을 목적으로 하며, 이에 따라 본 연구의 타당성은 다음과 같다

○ 이상 기후에 따른 엽채류 작물에 안정적 생산과 고품질 작물생산이 미래농업기술에 해결 과제이며, 식물공장이 이 해결 방안으로 볼 수 있다. 이미, 일본, 미국, 유럽 등 선진국에서는 집중적 투자가 이루어지고 있으며 마트, 레스토랑, 유휴공간 등에 다양한 산업 분야에 적용이 되고 있다. 또한, 국민들의 생활수준 향상과 라이프 케어에 대한 관심이 높아져 샐러드 채소와 기능성식물 필요성도 크게 증가하는 추세이다. 현장 보급형 식물공장 생산시스템 개발로 인하여 식물공장 운영르 목적으로 하는 사업자의 니즈를 충족 가능할 것으로 기대되며 또한, 내수뿐만 아니라 수출에 적합한 제품을 개발과 지속적인 업그레이드함으로써 해외시장과의 경쟁력 확보가 가능하다.

항목	타당성 분석
저비용•고효율 식물공장 시스템	○ 미래농업기술에 대응하여 연구가 아닌 채산성 확보가 가능한 시스템의 필요 ○ 기후의 변화와 미세먼지 등의 대기오염으로 인한 안정적인 먹거리에 대한 수요 증가 ○ 소형 ~ 대형에 까지 식물공장 시스템의 다양한 산업분야에 적용 ○ 기존 사업 분야에 적용 되고 있는 부품을 식물공장 시스템에 맞도록 응용개발 ○ 사업자와 소비자의 식문화 변화에 따른 요구하는 니즈에 대한 대응 활성화

2. 연구의 필요성

○ 식물공장은 통제된 환경조절 하에서 식물의 연중 계획생산이 가능한 시스템으로써, 식품 산업에 요구되는 식자재 확보 및 품질 제고를 위한, 165㎡ 기준의 식물공장 생산시스템 ‘의 실증 연구를 통하여 보급화에 활용 될 수 있을 것으로 기대됨.

○ 환경오염 및 대기오염으로 인하여 소비자들은 보다 깨끗한 먹거리에 대한 수요는 증대하고 있으며, 식물공장은 밀폐된 환경에서 미세먼지, 황사 등 대기오염으로부터 차단되어 무농약 으로 재배되기 때문에 경쟁력이 있는 작물을 생산이 가능함.

○ 최종적으로, 식물공장의 보급화를 위해서는 구성 환경 요소들의 표준화 및 ㎡당 발생되는 비용을 최소화가 필요하며 165㎡의 실제 식물공장을 건립하여, 식품산업에 이용

되는 엽채류, 쌈채소, 허브류의 작물을 선정하여 실증 실험을 통하여, 현장보급형 식물공장 시스템의 전반적인 사업화 추진전략을 확보하고자 함.

- ○ 식물공장의 ㎡당 발생 되는 비용을 최소화하기 위해서는 생산 제품의 금형화, 최적의 광원, 최적의 공조 시스템, 효율적으로 관리 할 수 있는 ICT 기반의 제어 기술 확립이 필요함. 식물의 생육・생장, 그리고 식물체 내 다양한 물질의 합성 및 축적은 식물의 재배환경조건에 의해 밀접하게 영향을 받음. 광, 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 영양액 성분과 같은 다양한 환경인자들의 최적 조건 또한 확립이 된다면, 누구나 쉽게 접근할 수 있는 현장 보급형 식물공장으로 활용 될 수 있음.

(1) 사회적인 측면

○ 한국 농가의 고령화

- 112만 1천 가구, 275만 2천명, 39.1%노령인구 비율 (기획조정실, 2015)
- 농가 경영주 연령별 분포 70대(44만 5천 가구, 39.7%), 60대(33만 1천 가구, 29.5%), 50대(23만 3천, 22.5%)
- 농축산물 판매규모 (1억원 이상 3만 1천 가구 : 2.7%, 1천만원 미만 71만 7천 가구 : 64%) *1억원 이상은 축산농가가 가장 많이 분포
- 네덜란드의 경우 2012년 한국의 2,792,564명 보다 적은 농업인구 수인 1,610,000명으로 세계 2위의 농산물 수출국 됨(754억 달러)
- 기후변화 등의 생태환경변화 대처 위해 청년 농민 증가 되어야 함. 농촌 인구 노령화로 인한 경쟁력 약화 우려
- 농축산물 판매규모 (1억원 이상 3만 1천 가구 : 2.7%, 1천만원 미만 71만 7천 가구 : 64%) * 1억원 이상은 축산농가가 가장 많이 분포
- 농업을 하고 싶은 누구나가 농업에 대한 진입 장벽이 없도록 집단 지성과 참여적인 협력을 통한 개방형 지식베이스의 농업에 대한 필요와 수요 증가
- 도시농업 확대와 세계적 농업 스마트화 추세 대응
- 도시 내 건물 경관에 녹지 제공, 푸드-마일리지 감소, 등의 환경 개선 효과
- 도시민의 텃밭, 베란다, 주말농장을 활용한 도시 내 작물 재배 수요 증가
- 데이터 바탕의 기획 농작물 생산으로 작물 재배의 표준화가 가능하며, 생산 증가로 물가 안정에 기여 가능
- IoF(Internet of Farm) 플랫폼 형성으로 농업 활성화 및 도시농업 시장 확대, 귀농 산업, 도시형 가든 보급에 기여 가능

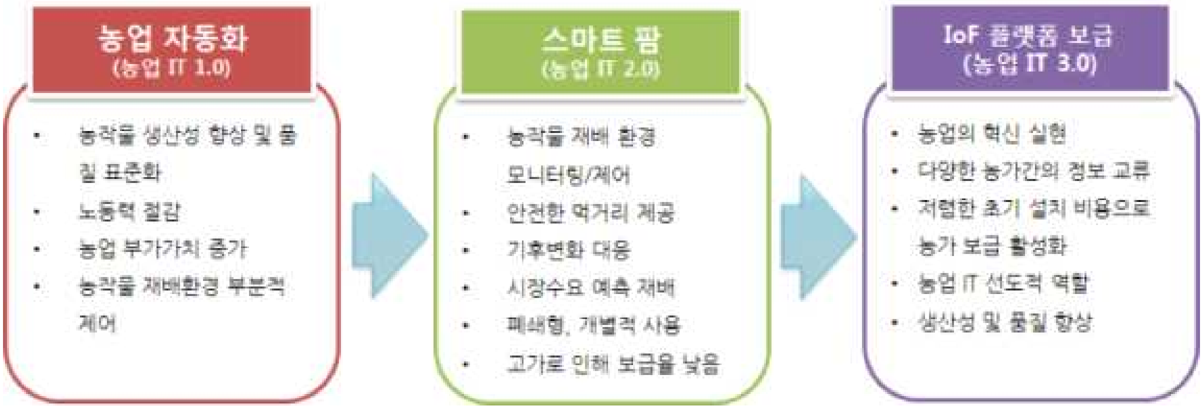
(2) 경제적인 측면

- ○ 귀농 귀촌민 증가에 따른 지식 기반의 농업 서비스 보급
- ○ 기존 농법의 노하우 전달 방식을 플랫폼 기반의 시스템 교육으로 전환
- ○ 농업 데이터 축적 및 사용을 데이터베이스 기반에서 활용 가능
- ○ 귀농, 귀촌에 필요한 교육을 본 센서 디바이스 및 플랫폼을 통해 쉽게 접근 가능하도록 서비스 제공
- ○ 농업 전문가가 아닌 시작 단계에서의 환경 조건 적응 어려움을 극복하도록 함

일본의 식물 공장

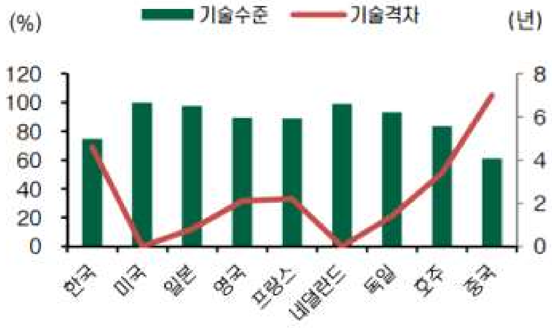
(3) 안전한 먹거리 수요 증가
- ○ 세계화와 식품 생산 단계의 복잡성으로 인해 안전하지 않은 먹거리에 대한 불안감 확산
- ○ 안전하고 건강하게 재배된 지역 농산물 수요의 증가와 고품질 유기농 작물에 대한 가치 증가
- ○ 작물생육 과정을 증명할 수 있는 객관적인 재배 데이터화 기술 필요

(4) 기술적인 측면
- ○ 폐쇄적 ICT형 농업 데이터
- ○ 농업 ICT를 통한 생산의 자동화 농가가 증가하였고, 스마트 팜 기술이 정부의 정책으로 보급되어 왔지만, 현재까지 농업기술은 폐쇄형으로서 생산된 정보를 활용하고 피드백을 받는데 한계가 존재
- ○ 기후변화 등으로 인해 지속적으로 변화하는 농업환경에 대비하여, 농작물 재배에 적합한 환경 연구를 통한 환경 데이터 축적과 빅데이터 내 생육정보와의 비교를 통해 재배 생산성 향상 필요
- ○ 개별 패쇄적 서비스 플랫폼을 넘어서 수평적이고 개방적으로, 관련 정보들과 연계 가능한 플랫폼을 개발하기 위해 IoF(Internet of Farm)의 초기 단계인 센서, 정보 축적, 빅데이터 구축 필요



농업 IT 발전 흐름](자료 : JKMS 2014 참조)

○ 국내 독자적인 식물공장 기술 확보 필요
○ 네덜란드, 일본 등 이미 앞서가고 있는 식물 공장 재배 기술의 수입을 줄이고 국내 독자적인 식물 공장 기술 확보 필요
○ 효율적인 LED 및 냉,난방 에너지 사용에 있어 환경 정보 수집 및 평가가 중요함
○ 식물공장의 통제된 환경에서 정보 수집은 신뢰성이 더 높으므로 생산량 증대에 즉각적인 기대 가능
○ 환경 정보 센서를 통해 데이터베이스에 작물별로 수집된 정보는 고부가가치를 지닐 수 있음



주요국별 농업 ICT 융합 분야 기술 수준 및 기술격차
(자료 : 한국농촌경제연구원, 현대증권)

(5) 빅데이터 기반의 농업 데이터 축적 및 발전
○ 본 디바이스 및 센서 사용 시 축적되는 데이터를 기반으로 각 식물 별 환경 조건에 알맞은 조건을 산출 가능
○ 재배가 까다로운 특수 작물을 재배하는데 있어 환경 조건을 좀 더 쉽게 맞출 수 있도록 서비스 제공 가능
○ 식용뿐만 아닌 의약 작물에 대한 특정 성분에 대해 조절이 가능한 환경을 조성하는데 필요
○ 재배 된 작물 상품 가치의 원인 분석 및 데이터 축적에 따라 흉작 예방 가능

[그림 3] 사물인터넷 시장 규모

(6) 사물인터넷 관련 시장 확대에 대한 대응

○ 사물인터넷 환경 구축을 위해 서버와 통신, 하드웨어 기술이 동시에 요구됨
○ 사물인터넷의 전반적인 기술을 보유하면 적용모델에 구애 받지 않고 인터넷이 연결되는 환경이면 가정, 공장 등 어디서든지 활용 가능
○ 사물인터넷 시장이 확대되는 추세에 맞추어 플랫폼 구축 및 사용 환경 선점이 중요

3. 국내 기술 수준과 시장 현황

(1)기술현황

○ 국내 식물공장 관련 기술개발은 1990년대 유리온실 보급과 함께 시작된 수경재배 및 자동화시스템 개발을 통해 2004년도 농촌진흥청에 건립된 250㎡ 규모의 수평형 식물공장으로부터 시작함. 2010년부터 인성테크 사의 LED를 사용한 인공광형 다단식 식물공장 개발을 시작으로 현재까지 농촌진흥청, 전주생물소재연구소 및 전북대학교 LED 농생명 융합연구기술센터 등에서 식물공장 기술개발 및 작물재배 연구를 수행하고 있음.
○ 식물공장 시스템 구축은 로보틱스 기술을 활용한 식물공장 자동화시스템 테스트베드 구축(서울대, LG CNS, 경기도농업기술원), LED 기반 식물공장 핵심기술 및 부품 개발(서울대, 오디텍 등), 생리감응형 LED 조명시스템 개발(서울반도체, 한아아쎄스, 신아그린테크 등), LED 이용 해충방제시스템 개발(한국 광기술원, 전자부품연구원 등), 친환경 식물생산용 LED 조명시스템 개발(한국고덴시, 라이텍코리아) 등의 프로젝트들이 진행되고 있음.
○ 식물공장시스템 내 작물 재배기술에 관한 연구는 기존 시설원예에 사용되었던 환경제어 기술과 양액재배 기술을 기반으로 여러 대학과 농촌진흥청 산하 연구기관에서 주도적으로 진행하고 있으며, 그 수준은 안정화/상용화 단계에 이르고 있음.
○ 식물공장 핵심요소 기술개발에 이어 엽채류 중심의 작물 생산 및 판매를 통한 사업화도 본격적으로 시작되고 있음. 리프레시함양과 베지텍 일산팜 사의 경우 대규모 보급형 식물공장 설비를 통해 상추, 인삼, 버섯 등을 판매하고 있음.
○ 현재까지의 식물공장 사업화가 상추 등의 엽채류 중심의 채소재배 및 판매에 국한되었던 반면, 최근 고부가가치 약용식물 재배를 통한 식물공장 활용 기술개발이 시작되고 있는 상황임. 식물공장을 기반으로 한 약용식물 생산분야가 산업화, 상용화되기 위해서는 약용식물 원료를 이용 제품생산을 수행하고 있는 국내 식의약 산업과 연계된 생약제제의 원료 대량생산 및 원료 표준화 공정에 대한 기술개발이 요구되나 현재까지 국내 해당 기술에 대한 개발 및 연구지원은 미미한 수준임.

(2) 시장현황

○ 인공광과 병용형에서 생산 가능량은 소비자 수요조사 결과를 이용하였음. 식물공장에서 생산된 농산물 수요는 향후 5년간 46.5% 증가하는 것으로 분석되었음. 따라서 인공광에서 생산된 농산물은 5년 후에 9,049톤, 병용형에서는 이보다 많은 3만 5,066톤을 소비하는 것으로 하였음.
○ 연도별 추정치는 매년 누적 개념으로 LED 및 형광등 식물공장은 계속 증가하여 초기 년도에 14억 원에서 2023년 순 시장규모는 204억 수준으로 계속 증가하고 있음. 이는 완전인공광의 경우 기술개발로 새로운 산물을 생산하는 것으로 하였음. 새로운 산물은 기능성 농산물 또는 BT와 연계된 새로운 시장이 연계 가능성을 가지고 있기 때문임. 반면 병용형의 경우 초기에는 264억 원 정도에서 1,980억 원까지 증가한 후 감소하여 2023년에는 416억 원수준으로 낮아질 것으로 전망되며 2024년 이후는 순 증가의 변동

이 없는 것으로 전망됨. 처음에는 시장의 초기단계로서 시범사업 등에 의해 시장규모가 증가하다가 어느 정도 되면 새로운 수요가 정체 또는 체감하는 것으로 분석됨.

단위: 억 원

구 분		2013	2015	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
완전 인공광	LED	54	88	149	183	272	408	612	815	1,019	1,223
	형광등	97	158	267	328	486	729	1,094	1,458	1,823	2,188
병용형		1,056	1,716	2,904	3,960	5,940	7,392	8,316	8,844	9,260	9,676
순증가	LED	14	20	34	34	88	136	204	204	204	204
	형광등	24	36	61	61	158	243	365	365	365	365
	병용형	264	396	660	1,056	1,980	1,452	924	528	416	416

주: 2013년 시장규모는 2014년과 동일하게 추정하였음.

식물공장 형태별 시장규모 전망

○ 식물공장 형태별 재배면적 및 시장규모를 보면 처음 시장규모는 적은 단계임. 병용형의 경우 정부정책 또는 시범사업 등으로 재배면적이 완만하게 증가하는 구간임. 그리고 2단계는 식물공장의 성장기로서 식물공장에서 생산된 농산물에 대한 수요가 증가하여 급증하는 단계이고 3단계는 기존 식물공장 생산물의 소비가 체화된 단계로 볼 수 있음.

구분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
금액(억 엔)	9 (103억 원)	13 (150억 원)	30 (345억 원)	-	92 (1,058억 원)	71 (817억 원)	117 (1,346억 원)	171 (1,968억 원)
면적(ha)	1	1.7	4	-	13.1	10.4	17.2	26.3

한국의 식물공장 시장규모 (KISTI market report Vol 3. issue 3)

(3) 경쟁기관현황

○ 국내에서 식물공장 관련 주체는 3개의 형태가 있음. 첫째는 식물공장 관련 시스템 산업체, 둘째는 식물공장 영농업체, 셋째는 식물공장 건설 산업체가 있음.
○ 우리나라는 식물공장 관련 시스템 개발 업체가 관련 산업을 주도하고 있음.
○ 인성테크, 와이즈산전, LG CNS, 카스트엔지니어링, 오디텍, 파루스, 세기교역상사, 유양디앤유, 농심엔지니어링, 다인바이오, 한국시티팜, 동부라이텍, 파루스, LG전자, 애니파크, 갤럭시아 포토닉스, (주)맥스포, 솔프웨어(주), 현진조명(주), 그린플러스 등

업체 유형	관련 업체
재배시스템 개발업체	인성테크, 와이즈산전, LG CNS, 카스트엔지니어링, 오디텍, 파루스, 세기교역상사, 유양디앤유, 농심엔지니어링, 다인바이오, 한국시티팜, 동부라이텍, 파루, LG전자, 애니파크, 갤럭시아 포토닉스, ㈜맥스포, 솔프웨어(주), 현진조명(주), 그린플러스 등
영농업체	리프레시함양, 참농원, 태연친환경농업기술, NBM, 에코스프라우트, 베지텍스, 이음 등
건설업체	포스코 건설, 대종씨앤아이, 두원산업개발 등

국내 식물공장 형태별 업체 (농업기술실용화재단(2013). 특허기술 가치평가서: 특허명 식물재배시스템)

4. 국외 기술수준과 시장 현황

(1) 기술현황

○ 식물공장의 기원은 1957년 덴마크에서 태양광 이용형 새싹채소 온실에서 시작됨. 1960~70년대 미국에서 우주농업 형태의 식물공장이 연구되었고, General Electric사, General Mills사 등 기업중심의 인공광형 식물공장사업이 시도되었으나 실용화로 진행되지는 못함.

○ 2000년대 미국 WhitePharm 사에서 심야전력을 이용한 허브류 생산에 식물공장생산시스템을 활용함.

○ 최근, 도심에서 식물공장시스템을 기반으로 한 신선채소 생산계획이 구체화되기 시작하여 싱가포르에서는 Sky Green Farm을 구축하여 엽채류를 매일 약 1톤 규모로 생산하여 제품출하를 하고 있으며 싱가포르 정부는 설비규모를 점차 확대해 나갈 수 있도록 지원할 계획으로 알려져 있음.

○ 2013년, 미국 시카고 소재 FarmedHere사에서도 식물공장에서 바질 등의 허브류를 생산하여 인근 지역에 공급하는 사업을 수행 중에 있음.

○ 현재까지 대부분의 식물공장이 엽채류 위주의 생산에 초점을 맞췄던 반면, 미국 텍사스에 소재한 Caliber Biotherapeutics사의 경우 13,935 m2 규모의 대규모 식물공장 설비에서 약 220만 개체의 유전자변형 담배를 재배하여 의료용 재조합단백질 생산에 이용하는 사업을 진행 중임.

○ 네덜란드의 식물공장 재배면적은 1975년에 이미 4,700ha로 2008년 수준을 나타내고 있으며, 생산량의 증가는 물론, 대규모화, 공장의 고도화 등이 이미 달성되어 체계적 시스템에서 생산이 이루어지고 있음.

○ 아시아 권역의 식물공장 기술개발 및 사업추진은 일본이 선도적으로 수행해왔음. 1974년 히타치제작소 중앙연구소에서 수행한 식물공장 기반 식물 최적 재배환경 조성 연구를 시작으로, 2009년부터는 일본정부의 지원 하에 약 50개소의 상업적 식물공장이 운영되고 있음.

○ 최근 일본에서도 식물공장 수익 창출을 위해 고부가가치 약용식물 재배를 통한 제약원료 생산 목적의 기초연구로 방향전환을 하고 있는 상황임. 일본 미츠비시케미컬 사의 경우 2010년부터 감초 등의 한약재 원료 생산을 위한 LED 조명 구성과 재배법 확립을

위한 기술개발에 착수하였음. 또한, 경제산업성의 지원으로 분자농업 관련 GMO 작물을 밀폐된 식물공장에서 재배하여 애완견 구내염 치료제를 세계 최초로 상용화하고 있는 등 적극적인 투자가 이루어지고 있음.

구분	국내	국외	
		유럽	일본
구조재료	보통 유리	표준화	자외선, 열 차단 피복재
인공광원	고효율 형광등 LED 초기 단계	고압나트륨 램프, 메탈할라이드 램프	고효율 형광등 LED 광원 개발
조사방법	전면 조사	근접, 간헐 조명	근접, 간헐 조명
냉난방	히트펌프 실용화	온수난방, 증발 냉각	히트 펌프
양액관리	EC, Ph 제어	미량성분 요소 제거	미량성분 요소 제어
환경관리	개별 제어	복합제어	원격 계층 제어
이식작업	인력	반자동	로봇
스페이싱	반자동화	자동화	자동화, 로봇
수확작업	인력	인력	자동화
생장제어	생산모델 개발 초기	생육 단계별 최적 제어	생육 단계별 최적 제어

[표 6] 국내외 식물공장 특징 비교 (데이코산업연구소(2010), 김유호, 식물공장 자동화 시스템 및 기술동향)

(2)시장현황

가. 일본 시장 규모 및 현황

○ 일본은 네덜란드에 비해 식물공장 운영 수준이 저위이나, 향후 식물공장 시장규모는 확대될 것으로 예상됨.

○ 일본의 향후 식물 공장 시장 규모는 점차 확대 될 것으로 예상되며, 시장 규모는 2009년도 138억 6200만 엔에서 2015년 310억 엔으로 2009년 대비 202배, 2020년에는 4.6배 증가한 640억 엔이 될 것으로 전망됨. (한국 농촌경제 연구원 제 49호, 2013. 3. 7)

○ 태양광 이용형 식물공장 시장은 앞으로 대기업의 대규모 신규참여와 기존 시설의 고도화로 인해 증가할 것으로 보이며, 시장규모는 2009년 100억 엔에서 2015년 190억 엔, 2020년 340억 엔에 달할 것으로 전망됨.

(3) 경쟁기관현황

기업명	현 황
스프레드사	◦식자재 공급 회사로 기후변화 등으로 인한 가격변동 리스크의 회피 차원에서 2008년 식물공장에 직접 참여하면서 다양한 엽채류를 생산하여 대형마트나 호텔에 공급
(주)미라이	◦Green Flavor 식물공장은 파나소닉사의 형광등을 채용하여 경쟁력을 확보하고 도심 곳곳에서 점포를 개설하여 점포 내의 식물공장 시설에서 직접 재배한 엽채류를 판매
페어리엔젤사	◦ LED 조명기기제조업체인 CCS사가 2008년에 15억 엔을 투자하여 자회사로 설립 ◦ 하루 평균 엽채류 13,000여 포기를 생산하면서 식물공장과 레스토랑을 함께 운영하고 있음. ◦ 태양전지를 이용한 에너지 절감형 식물공장 시스템을 실용화하는 연구도 진행 중
큐피(주)	○ 마요네즈 제조업체 ○ 고압나트륨등을 광원으로 식물재배 효율성을 위해 ∨형태로 한 경사주간조절이 가능한 분무수경재배 방식을 채택하여 TS팜이라는 식물공장사업을 시작 - 파종에서 재배까지는 약 30일이 소요되며
다이와하우스	○ 주택 및 상업시설 건설, 도시개발사업, 환경/에너지사업 주력업체 ○ 농업분야 제품개발 및 사업화를 통해 식물공장 사업을 주력사업으로 육성 계획 및 그룹 내에서 일관생산 및 A/S 실시를 통한 시너지 창출 효과 기대 ○ 식물공장시스템은 다이와하우스공업(주)와 다이와리스(주)가 공동개발하였으며 주택업계에서 식물공장 unit을 판매하는 것은 최초임 - 2012년 4월 컨테이너형 식물공장인 ‘Agri-cube’출시하는 등 소규모 식물공장을 개발하여 판매할 예정으로 주요 목표고객은 비즈니스호텔, 고급 레스토랑, 분양 맨션, 편의점 - 2012년 판매목표는 1,000대로 매출목표는 55억엔~85억엔
Sojitz사	○ 일본 Mebiol사에서 하이드로멤브레인기술을 적용하여 개발한 IMEC기술을 적용하여 2010년 식물공장 사업 시작 ○ 주 생산작물은 고당도의 체리토마토로 현재 570평 온실에서 개발 및 2012년 25톤 생산 판매 계획

기업명	현황
료비홀딩스 (RYOBI HOLDING)	○ 교통 운수사업을 주력으로 하는 료비홀딩스사에서는 료비그룹 제조부문의 Sorex(주)의 클린룸 기술과 정보부분의 홈페이지 구축기술 및 스토아사루보료비(주)의 소비자 직거래 경험 등 그룹의 종합적 사업으로 식물공장사업에 진출 ○ 완전인공광형 시스템에 태양광발전, LED 조명 접목하였고 기존 일본 제품들에 비해 생산성을 30% 향상시켜 작물재배 시 가격경쟁력 확보 가능하다고 함 ○ 2009년 식물공장 플랜트사업을 시작하여 2010년 11월 화물수송선용 모델플랜트를 출시하였고, 2011년부터 작물 생산 및 판매를 시작하였음. 2012년 5개의 식물공장을 설치할 계획 ○ 매장용(모델명: 야사이구라)과 화물수송선용(모델명: 야사이구라-드럼) 식물공장 시스템으로 구분하여 개발 및 판매 계획임. 그림 . 일본 료비 홀딩스사 개발 식물공장 모델
미쓰비시 플라스틱	○일본 Mebiol사의 IMEC 시스템을 활용한 agribusiness solution 개발사업으로서 식물공장 사업 진출 계획 발표(‘11년 6월) 그림. 미쓰비시플라스틱 중장기 사업계획 발췌(‘11년 6월)

제2절. 국내외 특허 현황

1. 국내 관련 특허 현황

가. 국내 식물공장 관련 지식재산권 현황

기업명	지식재산권	표준화 현황
농촌진흥청	식물공장 광원 및 이를 갖는 식물공장 조명시스템 (출원번호 : 1020100134188)	○ 식물공장 모델 및 운영 매뉴얼 개발 등 연구에 활용 계획
	가정용 식물 공장 (출원번호 : 2020100007524)	
경기도농업기술원	현가식 실내 수경재배기 (출원번호 : 2020050001952)	○ 로봇을 이용한 국내 최초 식물공장 클린룸 조성 ○ 냉방으로만 시설온도 유지 가능 ○ LED 인공광형
	순환식 수경재배용 배액 전극법 관수시스템 및 그 수경재배방법 (출원번호 : 1020070044301)	
전주생물소재연구소	L E D 조사를 이용한 결구 형성 및 생육이 증진된 양상추의 재배 방법 (출원번호 : 1020120089849)	○ 엽채류, 인삼 등 LED 인공광형
인성테크	다단 적층 타입의 식물 재배 베드를 구비한 수경 재배 시스템에 사용되는 조명장치용 냉각장치 및 이를 구비한 조명 시스템(출원번호 : 1020100101529)	○ 모듈형 식물공장 ○ 시티팜 브랜드 ○ LED 인공광형
카스트친환경농업기술(주)	식물공장 LED 조명장치 및 이의 제조방법 (출원번호 : 1020100028266)	○ 저비용 식물공장 ○ LED 인공광형
맥스포	식물 공장의 생산량 예측 방법 (출원번호 : 1020120150155)	○ 컨테이너형 식물공장 ○ LED 인공광형
	광 병용형 식물 재배 시스템 (출원번호 : 1020120150154)	
동부라이텍	식물재배용 조명장치 (출원번호 : 1020100002266)	○ 돔형(곡선형 천정) 식물공장 ○ LED 인공광형
	식물공장의 양액공급시스템 (출원번호 : 1020100138691)	
	식물공장의 환기시스템 (등록번호: 1010531460000)	
참농원	실내에서 다단식 수경베드로 엘이디를 주광원으로 하여 해양심층수를 활용한 엽채류의 속성재배방법 (출원번호 : 1020110137044)	○ 해양심층수를 이용한 식물공장 ○ LED 인공광형

나. 국내 식물공장 관련 표준화 현황

구 분		형 식	현 황
농촌 진흥청	세종기지	인공광형 (15㎡)	○연구용 ○원격으로 재배기술 모니터링(원예원) * 남극 세종기지 대원 부식용 엽채소 생산
	농업공학부	수직형(병용형) (50㎡) 빌딩형(인공광형) (396㎡)	○연구용 - 파종∼수확까지 자동화 시스템 구축 - 투입기술 : 지열냉난방, 태양광발전시스템 - 작업공정 자동화·로봇화 연구 - 식물공장 모델 및 매뉴얼 연구 수행
민간 기업	인성테크	인공광형 (165㎡)	○상업용 - 농심, 풀무원, 롯데마트, 신세계푸드 매장 등 60곳 설치 * 샐러드 카페 운영
	팜에이트	인공광형 (654m2)	○상업용 - 샐러드 농산물 분야 유통 - 중국사 장비 도입
	(주)파루스	인공광형 (30㎡)	○상업용 - 대학, 연구소, 건물 빌트인 규모로 납품 * LED광 일본 수출
	카스트 친환경농업	인공광형 (132㎡)	○연구용 - 적상추 등 엽채류 재배
	알가팜텍	인공광형 (594㎡)	○상업용 - 엽채류 재배, 농산물 유통
	고려냉장식품	인공광형 (50㎡)	○상업용(생산물 자체소비) * 일본 Alumis사 도입 설치
	그린플러스	태양광형 (50㎡)	○상업용 ○온실시공전문업체→식물공장 사업확대 * 농진청 수직재배장치 기술이전
	베지텍스 일산팜	인공광형 (661㎡)	○상업용(생산물 판매) - 상추 등 엽채류 재배 및 판매
민간 연구소	전주생물 소재연구소	인공광형 (221㎡)	○연구용 - 인삼 등 특·약용작물 재배 연구
기관	경기도 농업기술원	인공광형 (162㎡)	○연구용 - 이동식 재배장치(3축 리니어방식) - 양액, CO2 환경제어에 따른 생육특성
	대구시 농업기술센터	인공광형 (165㎡)	○연구용 - 엽채류 재배최적화 - 양액, CO2 환경제어에 따른 생육특성
대학	전북대학교 LED 농생명 융합기술연구센터	인공광형 (1,650㎡)	○연구용 - LED 광원 및 재배생육 최적화 연구 ○전문인력 양성

다. 기타현황-ICT 기술

○ 현재 국내의 경우 ICT 융복합의 기반기술인 스마트 센서, 계측기 등의 국산제품 부족으로 수입에 의존하고, 생육 알고리즘, 표준화 등 핵심기술 개발이 미흡함. 이에 따라 가드닝 및 농업 분야에서 국산 재래식 센서 제품이 주로 사용되고 있음.

○ 국내 상용화 수준 미흡으로 고가의 외산제품 선호, 초기 투자 부담이 높음

○ 국산 재래식 센서는 오래된 방식의 센서기술과 통신방식으로 정확도와 활용성이 낮음에도 불구하고, 소비자들의 선택권이 없어 고가에 판매되고 있음 (재래식 일사량센서의 가격이 39만원, 토양 습도 및 EC센서의 가격이 70~80만원에 달하는 상황, 미래센서

본사 홈페이지 참조)

○ 이에 따라 가드닝 분야에서는 센서 제품들이 거의 활용되지 못하고 있으며, 농가에선 일부 농가가 외산 제품이나 정부의 보조금으로 센서 제품을 구입 하여 활용하고 있는 상황임

2. 국외 관련 특허 현황

가. 국외 식물공장 관련 지식재산권 현황

기업명	지식재산권
Agritech Innovation A	METHOD AND SYSTEM FOR MONITORING GROWTH CHARACTERISTICS (출원번호 : PCT/CA2007/000797)
Agrisystem	포트모종식기에서 모종상 자동 공급 방법 및 그 모종상 자동 공급 장치 (출원번호 : JP/09308055)
Hortiplan	Method and apparatus for transfer of seedling with substrate (출원번호 : EU/12182084.9)
파소나 그룹	식물의 성장 상태 계측 장치 FILTER REGENERATION DEVICE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE (출원번호 : JP/03061578)
치바대학	METHOD OF PROMOTING FRUIT SETTING AND GROWTH OF CULTIVATED PLANT AND APPARATUS FOR PROMOTING FRUIT SETTING AND GROWTH (출원번호 : PCT/JP2006/323097)
페어리엔젤	수경재배용 차체를 지탱하는 부분 HYDROPONICS TRUCK (출원번호 : JP/21108736)
(주)후지쯔	처리 장치(processor) 및 감시 시스템(supervisory system) PROCESSING APPARATUS AND MONITORING SYSTEM (출원번호 : JP/22258303)

나. 국외 식물공장 관련 표준화 현황

기업명	표준화 현황
Agritech Innovation A	○ 형태: 부분제어형, 시스템을 유럽전역에 공급 ○ 재배작물: 야채류, 허브류
Agrisystem	○ 형태: 부분제어형, ○ 재배작물: 화훼, 채소, 수목 등 육묘
Hortiplan	○ 형태: 부분제어형, 자동이송시스템 ○ 재배작물: 상추, 허브류
파소나 그룹	○ 형태: 완전제어형, 고압나트륨 전등, HEFL 전등 ○ 재배작물: 화훼류, 벼 등
치바대학	○ 형태: 완전제어형 ○ 재배작물: 무병주 묘생산, GMO 작물
페어리엔젤	○ 형태: 완전제어형, LED ○ 재배작물: 채소류
(주)후지쯔	○ 형태: 완전제어형, 소형공장시스템 ○ 재배작물: 채소

다. 국외 기타 현황

- ○ 해외(미국)시장 경쟁상황: 해외의 경우 스마트 가드닝과 스마트 농업 시장을 타겟으로 스타트업들이 나타나고 있음
- ○ 현재까지는 센서 / 데이터 수집 SW / 농가 경영 SW 등 각각 분리된 영역에서 각각의 기업들이 탄생하고 있음
- ○ 현재까지 통신방식, 저전력 기술 구현 등의 과제를 해결하지 못해 비싼 가격에 판매되고 있고, 이에따라 시장을 지배하는 사업자는 존재하지 않음

라. 재배작물의 재배 성분 조사

- ○ Kale(Brassica oleracea L. var. acephala)의 항산화 성분은 폴리페놀 성분으로 알려져 있으며, 베타카로텐, 비타민-C도 함유하고 있음.
- ○ Kale의 주요아미노산은 Gluatmic acid(12.2% of total aminoacid)와 Aspartic acid (10,2% of total amino acid로 알려져 있음
- ○ Kale의 주요 미네랄은 Calcium(19.7 ug/g dw)과 Potasium(13.5 ug/g dw)임
- ○ Kale의 주요 페놀산 성분은 caffeic acid, ferulic acid, p-coumaric acid인 것을 보고됨.
- ○ Kale의 특이성분으로 glucosinolate류를 함유하고 있고, 특히 glucobrassicin, sinigrin 등이 주요성분으로 보고됨.
- ○ Basil (Ocimum basilicum L.)의 주요 항산화 성분은 rosmarinic acid, chicoric acid등으로 보고되었고, rosmarinic acid는 항불안효과가 있는 것으로 알려져 있음
- ○ Basil은 주요 향신료로서 정유성분을 함유하고 있으며, 재배시기 품종별로 차이가 많고, 주요 성분은 linalool, methyl eugenol. methyl cinnamate, methyl chavicol, citral 등임
- ○ 상추 (Lactuca sativa)주요 항산화 성분으로 gallica acid, chlorgenic acid, quercetin 류 등이 함유되어 있고, 적상추는 안토시아닌을 함유하고 있음

제 3 절. 연구개발 대상 기술의 중요성

1. 기술적 측면

(1) 기술현황

- ○ 식물공장은 통제된 환경조절 하에서 식물의 연중 계획생산이 가능한 시스템으로써, 식품 산업에 요구되는 식자재 확보 및 품질 제고를 위한, 165㎡ 기준의 식물공장 생산 시스템 ‘의 실증 연구를 통하여 보급화에 활용 될 수 있을 것으로 기대됨.
- ○ 환경오염 및 대기오염으로 인하여 소비자들은 보다 깨끗한 먹거리에 대한 수요는 증대하고 있으며, 식물공장은 밀폐된 환경에서 미세먼지, 황사 등 대기오염으로부터 차단되어 무농약 으로 재배되기 때문에 경쟁력이 있는 작물을 생산이 가능함.
- ○ 최종적으로, 식물공장의 보급화를 위해서는 구성 환경 요소들의 표준화 및 ㎡당 발생되는 비용을 최소화가 필요하며 165㎡의 실제 식물공장을 건립하여, 식품산업에 이용되는 엽채류, 쌈채소, 허브류의 작물을 선정하여 실증 실험을 통하여, 현장보급형 식물공장 시스템의 전반적인 사업화 추진전략을 확보하고자 함.
- ○ 식물공장의 ㎡당 발생 되는 비용을 최소화하기 위해서는 생산 제품의 금형화, 최적의 광원, 최적의 공조 시스템, 효율적으로 관리 할 수 있는 ICT 기반의 제어 기술 확립이 필요함. 식물의 생육·생장, 그리고 식물체 내 다양한 물질의 합성 및 축적은 식물의

재배환경조건에 의해 밀접하게 영향을 받음. 광, 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 영양액 성분과 같은 다양한 환경인자들의 최적 조건 또한 확립이 된다면, 누구나 쉽게 접근 할 수 있는 현장 보급형 식물공장으로 활용 될 수 있음.

○

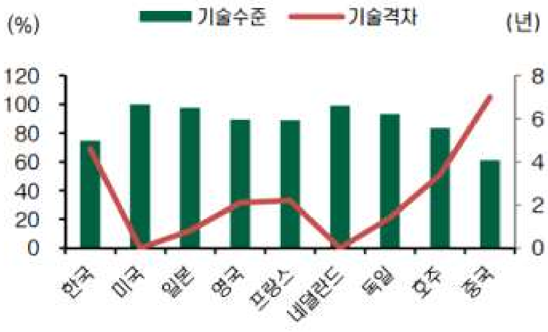
○ 국내 독자적인 식물공장 기술 확보 필요

○ 네덜란드, 일본 등 이미 앞서가고 있는 식물 공장 재배 기술의 수입을 줄이고 국내 독자적인 식물 공장 기술 확보 필요

○ 효율적인 LED 및 냉,난방 에너지 사용에 있어 환경 정보 수집 및 평가가 중요함

○ 식물공장의 통제된 환경에서 정보 수집은 신뢰성이 더 높으므로 생산량 증대에 즉각적인 기대 가능

○ 환경 정보 센서를 통해 데이터베이스에 작물별로 수집된 정보는 고부가가치를 지닐 수 있음



주요국별 농업 ICT 융합 분야 기술 수준 및 기술격차
(자료 : 한국농촌경제연구원, 현대증권)

2. 경제, 산업적 측면

○ 식물공장은 통제된 환경조절 하에서 식물의 연중 계획생산이 가능한 시스템으로써, 식품 산업에 요구되는 식자재 확보 및 품질 제고를 위한, 165㎡ 기준의 식물공장 생산 시스템 '의 실증 연구를 통하여 보급화에 활용 될 수 있을 것으로 기대됨.

○ 환경오염 및 대기오염으로 인하여 소비자들은 보다 깨끗한 먹거리에 대한 수요는 증대하고 있으며, 식물공장은 밀폐된 환경에서 미세먼지, 황사 등 대기오염으로부터 차단되어 무농약 으로 재배되기 때문에 경쟁력이 있는 작물을 생산이 가능함.

○ 최종적으로, 식물공장의 보급화를 위해서는 구성 환경 요소들의 표준화 및 ㎡당 발생되는 비용을 최소화가 필요하며 165㎡의 실제 식물공장을 건립하여, 식품산업에 이용되는 엽채류, 쌈채소, 허브류의 작물을 선정하여 실증 실험을 통하여, 현장보급형 식물공장 시스템의 전반적인 사업화 추진전략을 확보하고자 함.

○ 식물공장의 ㎡당 발생 되는 비용을 최소화하기 위해서는 생산 제품의 금형화, 최적의 광원, 최적의 공조 시스템, 효율적으로 관리 할 수 있는 ICT 기반의 제어 기술 확립이 필요함. 식물의 생육·생장, 그리고 식물체 내 다양한 물질의 합성 및 축적은 식물의 재배환경조건에 의해 밀접하게 영향을 받음. 광, 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 영양액 성분과 같은 다양한 환경인자들의 최적 조건 또한 확립이 된다면, 누구나 쉽게 접근 할 수 있는 현장 보급형 식물공장으로 활용 될 수 있음.

○ 귀농 귀촌민 증가에 따른 지식 기반의 농업 서비스 보급
○ 기존 농법의 노하우 전달 방식을 플랫폼 기반의 시스템 교육으로 전환
○ 농업 데이터 축척 및 사용을 데이터베이스 기반에서 활용 가능
○ 귀농, 귀촌에 필요한 교육을 본 센서 디바이스 및 플랫폼을 통해 쉽게 접근 가능하도록 서비스 제공
○ 농업 전문가가 아닌 시작 단계에서의 환경 조건 적응 어려움을 극복하도록 함

3. 사회 문화적 측면

(1)안전한 먹거리 수요 증가

○ 세계화와 식품 생산 단계의 복잡성으로 인해 안전하지 않은 먹거리에 대한 불안감 확산
○ 안전하고 건강하게 재배된 지역 농산물 수요의 증가와 고품질 유기농 작물에 대한 가치 증가
○ 작물생육 과정을 증명할 수 있는 객관적인 재배 데이터화 기술 필요
○ 한국 농가의 고령화
○ 112만 1천 가구, 275만 2천명, 39.1%노령인구 비율 (기획조정실, 2015)
○ 농가 경영주 연령별 분포 70대(44만 5천 가구, 39.7%), 60대(33만 1천 가구, 29.5%), 50대(23만 3천, 22.5%)
○ 농축산물 판매규모 (1억원 이상 3만 1천 가구 : 2.7%, 1천만원 미만 71만 7천 가구 : 64%) *1억원 이상은 축산농가가 가장 많이 분포
○ 네덜란드의 경우 2012년 한국의 2,792,564명 보다 적은 농업인구 수인 1,610,000명으로 세계 2위의 농산물 수출국 됨(754억 달러)
○ 기후변화 등의 생태환경변화 대처 위해 청년 농민 증가 되어야 함. 농촌 인구 노령화로 인한 경쟁력 약화 우려
○ 농축산물 판매규모 (1억원 이상 3만 1천 가구 : 2.7%, 1천만원 미만 71만 7천 가구 : 64%) * 1억원 이상은 축산농가가 가장 많이 분포
○ 농업을 하고 싶은 누구나가 농업에 대한 진입 장벽이 없도록 집단 지성과 참여적인 협력을 통한 개방형 지식베이스의 농업에 대한 필요와 수요 증가
○ 도시농업 확대와 세계적 농업 스마트화 추세 대응
○ 도시 내 건물 경관에 녹지 제공, 푸드-마일리지 감소, 등의 환경 개선 효과
○ 도시민의 텃밭, 베란다, 주말농장을 활용한 도시 내 작물 재배 수요 증가
○ 데이터 바탕의 기획 농작물 생산으로 작물 재배의 표준화가 가능하며, 생산 증가로 물가 안정에 기여 가능
○ IoF(Internet of Farm) 플랫폼 형성으로 농업 활성화 및 도시농업 시장 확대, 귀농 산업, 도시형 가든 보급에 기여 가능

제4절 연구개발의 목표와 범위

1. 연구개발의 최종목표와 주요 내용

(1) 연구개발목표 : 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템 개발

○ 본 연구를 통해 식물공장 생산시스템의 현장 보급을 위해 재배베드의 각 요소별 모듈화와 양산체계 확립과 재배 환경 구성 요소의 최적의 상품화를 통하여 초기 구축비용

을 절감 하고, 실질적인 모델화 구축을 통하여 실증연구를 진행하고자 함. 또한, 양액 재배의 특성을 활용하여 기능성 재배 작물에 대한 연구를 병행하여 재배력까지 갖추고자 함.

○ 식물공장 구축 비용 : 1㎡ 당 910,000원

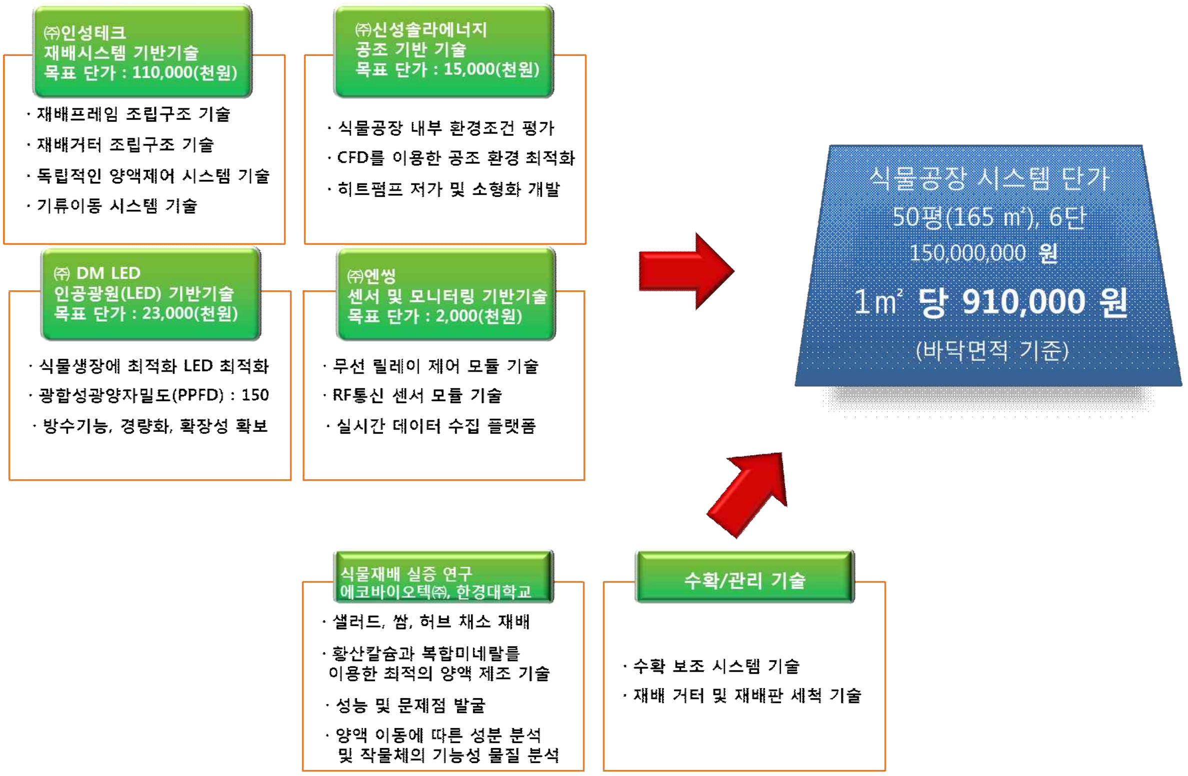
※ 식물공장 구축 범위 : 엽채류 재배베드(4Bay), 공조 시스템, 센서(온도, 습도, co2)와 실시간 데이터 수집 플랫폼

○ 주요 수출 시장 : 국내, 중동/중앙아시아 시장

○ 제품 판매 방법 : 주관 기관인 ㈜인성테크의 국내외 판매망 활용

○ 재배베드의 각 요소별 양산체계 확립을 통하여 초기 구축비를 절감하여 산업화와 시장 확대

○ 양액 재배 특성을 고려한 기능 재배에 대한 연구를 통한 재배력 확보



[연구개발 최종 목표]

(2) 본 연구를 통한 시스템의 구성 요소

○ 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템은 Baseplatfoam 형태의 시스템으로 본 연구를 통하여 엽채류 재배베드를 개발/제작을 하며, 추후 특용작물이나 근채류 재배 베드 상만 교체를 통하여 운영이 가능하도록 하여 확장성을 고려하여 구성이 됨.

○ 또한, 양액 재배와 LED 파장을 통하여 특정 식물의 재배기간 단축과 기능성 향상 재배 연구 진행.

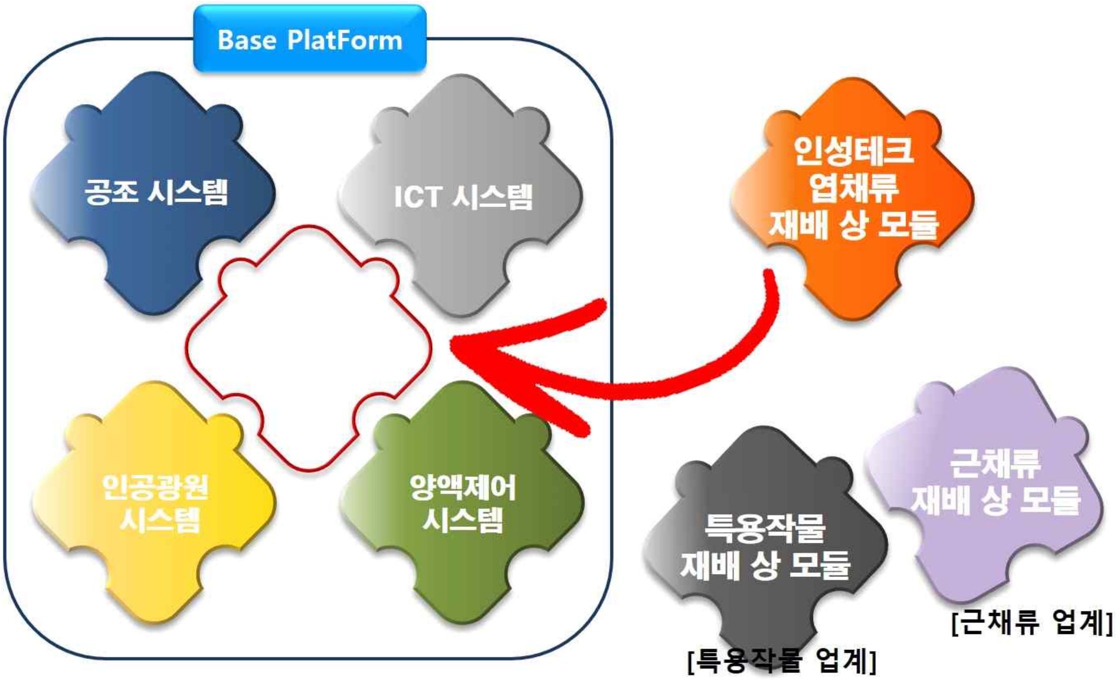
가. 재배베드

○ 재배베드 : 재배베드 구성 시스템들의 모듈화와 양산체계를 통하여 설치 현장에서 시스템 별 단순 조립을 통한 인건비를 최소화와 사용자가 유지보수를 공구 없이 할 수 있도록 기구제작을 하여 초기 투자비와 유지 관리비의 최소화. 또한, 식물공장 전용 자동화 장비와 호환이 될 수 있도록 하여 기구 설계를 통한 인건비 절감.

○ 재배 프레임 : 알루미늄 파이프의 ‘□’ 홈 구조로 단 높이와 상관 없이 보강 구조가

가능하도록 제작
○ 재배 거터라인 : 수확 자동화 시스템과 호환이 되며, 재배 거터라인끼리 연결 할 수 있는 부속으로 제작하여 길이 조절 가능하도록 제작
○ 양액제어 시스템 : 1cc/sec 단위로 양액 원액 투입 방식으로 배양액 순환으로 최적의 배양액 수치 조절 가능하도록 제작
○ 기류 이동 시스템 : 관리 동선에 방해가 되지 않으며, 별도에 시공이나 공간 차지 없이 재배베드에 부착 가능하도록 구현
○ 인공광원 : 1 Bar 형태로 독립 구성하여 전선 작업이 용이하도록 제품 구성하며, 440 ~ 660nm에 파장을 활용하여 150 PPFD, 36V/23W 사양과 배광(140도)/균제도(86% aver/max)로 경제성을 고려한 제품 제작

나. 환경 시스템
○ 공조 시스템 : CFD를 시뮬레이션으로 공조환경 최적화, 기존 항온항습기의 불필요한 기능 제거와 일체형으로 저가형 항온항습기 개발과 BLDC 압축기를 적용하여 에너지절감형 항온항습기 제작
○ 센서 시스템 : 무선 통신 센서로 유선작업을 최소화 하도록 제작, 환경 데이터를 그래프 평가로 쉽게 GUI 구성, OFF-LINE 상태에서도 자동제어가 가능한 제어서버와 원격서버로 분리



[확장성을 고려한 식물공장 시스템의 구성요소]

다. 재배베드 모듈별 양산체계로 구조 개선
○ 재배거터와 마감재의 수작업 형태에서 연결 부속/마감 부속의 금형화를 통한 양산능력 확보

○ 프레임 제작에 필요한 브라켓의 수작업 형태에서 연결 부속의 금형화를 통한 양산능력 확보

라. 재배베드의 조립 구조 개선

○ 재배 프레임와 LED Housing 구조를 통한 조립이 되어 형상이 재배베드 프레임이 만들어지도록 구성.

○ 피스작업으로 단순/조립 분해가 가능하여 잔존가치를 확보 할 수 있도록 구성.

마. 유지보수의 편리성을 고려한 제작/구조 개선

○ 재배거터의 라인 별 마감재에 시중 원터치 밸브와 PVC Pipe와 규격을 맞추어 세계 어느 지역에서도 유지보수 가능하도록 개선.

○ 소모품에 pH, EC 센서는 부력 구조로 배합탱크에서 노출을 하여 사용자가 커넥터 교체만으로 가능하도록 개선.

○ LED의 경우 1 Bar 형태로 구조를 개선하고, 공구 없이 교체 할 수 있도록 클립형태로 개선

바. 수확보조시스템

○ 수확 보조 시스템을 재배베드 구성 배치도에서 따른 횡방향으로 이동하여 1대로 여러 재배베드를 관리 할 수 있도록 구성하며, 한 곳에서 수확을 하여 작업자의 이동 동선을 줄여 줄 수 있도로 구성.

(3) 본 연구를 통한 식물재배의 연구

○ 활성칼슘(AMG)과 활성미네랄(HAC)의 복합물의 최적의 조성비 개발

○ 본 연구를 통하여 식물공장 내에서 기본조성 양액에 복합물(활성칼슘과 복합미네랄)을 첨가하여 식물생장의 변화와 기능성 물질의 변화 연구

○ 활성칼슘과 활성미네랄 상품화를 위한 제조공정 확립과 무기성분/유해성분 분석

○ 재배 작물의 기능성 성분 분석법 확립

- 상추 : 라디칼소거능 분석
- 케일 : 글루코시놀레이트 동정과 분석
- 바질 : 폴리페놀, 항산화능, 식물정유 추출과 성분 분석

○ 기능성 향상을 위한 적정 작물재배 기술 확립

○ AMG와 HAC의 최적의 농도에 대한 재배/연구

○ LED조합을 통한 식물생장 촉진 효과에 대한 분석/연구

○ 수처리 관리 기술 개발

- 일라이트를 이용한 양액 내 박테리아 제거 연구
- 양액 내 유해 음이온 제거를 위한 여과 시스템에 대한 연구

2. 연구개발의 최종 목표

○ 연구최종목표 : 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템 개발

- 본 연구를 통해 식물공장 생산시스템의 현장 보급을 위해 실질적인 모델화 구축
- 재배베드의 각 요소별 양산체계 확립을 통하여 초기 구축비 절감
- 재배베드에 각 요소별 유지보수의 간편화를 위한 모듈화 제작

- 재배 환경 구성 요소(센싱, 공조)에 대한 최적화 상품화
- 양액 재배의 특성을 고려한 기능 재배에 대한 연구
- 식물공장 구축 비용 : 1m² 당 910,000원

※ 식물공장 구축 범위 : 엽채류 재배베드(4Bay), 공조 시스템, 센서(온도, 습도, co2)와 실시간 데이터 수집 플랫폼

- 주요 수출 시장 : 국내, 중동/중앙아시아 시장
- 제품 판매 방법 : 주관 기관인 ㈜인성테크의 국내외 판매망 활용
- 재배베드의 각 요소별 양산체계 확립을 통하여 초기 구축비를 절감하여 산업화와 시장 확대
- 양액 재배 특성을 고려한 기능 재배에 대한 연구를 통한 재배력 확보

○ 식물공장 생산시스템 모델 구축 범위

구분	사양과 구축 범위	목표 단가	비율	평가방법
식물재배 시스템	생산형 재배베드 4 Bay(엽채류) · 재배 프레임 6단 _ 4 SET · 재배 거터 및 재배판_ 4 SET · 배양액 순환 시스템_ 4 SET · 기류 이동 시스템_ 4 SET · 양액제어 시스템_ 4 SET	110,000(천원)	17 %	실질적인 모델화 구축을 통한 자체 평가
공조 시스템	에너지 절감형 항온항습기 : 1대 · 처리열량 : 46,440kcal/h	15,000(천원)	15 %	실질적인 모델화 구축을 통한 자체 평가
인공광원 시스템	총 LED Bar : 1,152 Bar · 파 장 : 430~450nm, 650~660nm , White (B+Yellow) · 광합성광양자밀도(PPFD) : 120umol/m²/s 이상 · 배광조사 : 140 도 이상 (바닥 조사기준) · 광 균제도 : 70% (바닥조도기준) ·광합성광양자밀도 효율 4.5umol/m²/s / W 이상	23,000(천원)	15 %	실질적인 모델화 구축을 통한 자체 평가
센서, 작업관리 시스템	서버분전함 외 4종 1 SET · 온도, 습도, 이산화탄소 모니터링 센서 일체 포함 · 스마트폰 작업관리 앱	2,000(천원)	13 %	실질적인 모델화 구축을 통한 자체 평가

주요 성능지표	단 위	최종 개발목표	비율	세계최고수준 (보유국/보유기업)	객관적 측정방법
1. Mineral 총 함량(AMG)	%	**1.6% 이상**	10%	1.2%(일본, 테마록스)	공인시험인증기관 (한국화학연구원 등) 성적서
2. Mineral 종류(AMG)	개	**17종류 이상**	10%	15종류(일본, 테마록스)	공인시험인증기관 (한국화학연구원 등) 성적서
3. CaO의 순도(HAC)	%	**97.5% 이상**	10%	97.0%(일본, 시라이시)	공인시험인증기관 (한국화학연구원 등) 성적서
4. HAC의 pH (HAC)	0~14	**12.7 이상**	10%	12.5(일본, 시라이시)	공인시험인증기관 (한국화학연구원 등) 성적서

※ 식물공장 구축 후 각 업체별 목표 단가 달성 여부 평가

※ 식물공장 생산시스템의 실질적인 모델화 구축을 통하여, 기존 설치 기간과 개선 후 설치 기간 비교를 통한 비교평가

※ 각 시스템 별 목표 사양 달성과 제품화 사양에 대한 평가

제2장 연구수행 내용 및 결과

제1절. 1차년도 연구수행 내용

1. 재배베드 시스템 개선을 위한 설계/제작

(1) 기준 재배베드 개선 사항

가. 재배 프레임

○ 높은 다단 구조의 재배베드 구축을 고려하여 ‘□’ 형태의 원자재 개선(6단 재배베드 강도 설계)

○ 내경 치수를 40 by 40으로 하여 추후 기존 시중 40 by 40 파이프를 삽입하여 보강

○ 사각 형태의 프레임 구성이 아닌 “+” 형태로 구성하여, 작물 재배 관리/청소 시 관리자의 불편함 해소

○ 기본 6단 구조의 재배 프레임 제작의 양산을 위한 지그 제작과 피스 조립만으로 프레임을 구성 할 수 있어서 일반 작업자도 제작 가능

[이전 재배베드 프레임]	[개선 재배베드 프레임]

개선 전 문제점	개선 사항
○ 프로파일 사용시 단중이 증가가 되며, 단중 증가에 따른 단가 상승 요인. ○ 프로파일의 경우 가공을 주문시 이루어져야 하며, 현장에서 가공하기에는 많은 시간 소요. ○ SUS 프레임을 사용 시 소재 자체의 가격이 높음. ○ 청소와 식물 관리 시 중간 기둥에 불편함	○ 식물공장 전용 AL 파이프를 만들어 단중을 줄이고, 다단 구조에 맞는 두께 및 규격을 고려하여 개선. ○ 식물공장 내부 습도가 65~70%이므로, 코팅 처리를 함. ○ AL 파이프 끼리 연결 할 수 있는 부속을 금형화 하여 단 높이 및 제작에 용이 하도록 부품 개선 ○ 재배베드 프레임 제작/설치 시 용접이 들어가지 않고 피스조립 구조를 통한 해체 후 재설치가 용이 하도록 개선

[프레임 모서리 보호 캡] : 작업자의 안전을 고려한 마감자재

나. 재배거터 라인의 개선 사항

○ 식물 배양액과 단 별 기류 이동 원활이 이동 될 수 있는 타원 구조로 제작

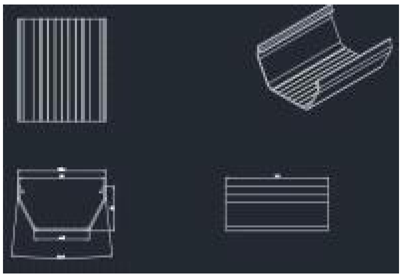
○ 급수/배수/중간 부속이 조립 형태로 제작을 하여 자재 이동과 수송에 원활하도록 구성

○ 급수/배수 부속에 경우 표준 규격 밸브와 배관을 이용 할 수 있도록 구성

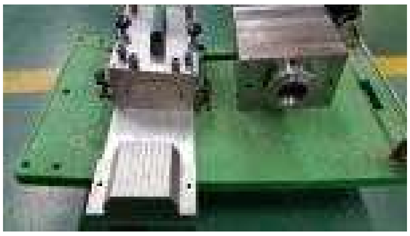
○ 재배 거터 금형화

금형 제품 3D 이미지화

3D 프린트 모형화



도면화



금형제작(재배거터)

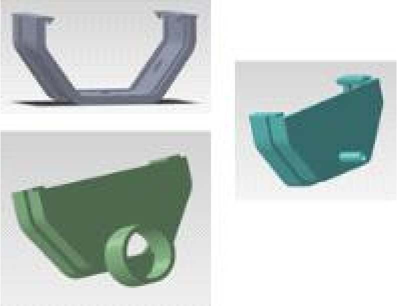
시사출 및 수정 보완

완료

검토 항목	확인 내용
○ 연결 브라켓에 탈/착 구조	○ 재배거터의 브라켓과 탈/착시 깨짐이 나 힘 강도 확인
○ 누수 부분	○ 배양액이 흘렀을 때 누수 부분 확인
○ 조립 방법	○ 도구 없이 사람 힘으로 탈/착 가능 확

	인
○ 엽채류 재배상에 맞는 거터 사이즈	○ NFT 재배 방식과 DFT에 재배시 물높이에 맞게 제작 완료
○ 제작 소재	○ 자외선에 변형이 안가는 ABS소재 선정

○ 재배 브라켓 금형화



금형 제품 3D 이미지화

3D 프린트 모형화

각 섹션 별 도면화

금형 제작(재배거터 브라켓)

시사출 및 수정보완

완료

검토 항목	확인 내용
○ 재배 거터가 탈/착 되어 안착 될 수 있는 구조	○ 재배 거터와 브라켓의 1:1 사이즈 내용 확인
○ 누수 방지를 위한 패킹 사이즈	○ 패킹 후 재배거터 고정 내용 확인
○ 재배 거터 급수 부 섹션/ 중간 연결 섹션/ 배수 부 섹션으로 3가지 형태의 기능적 역할	○ 급수부 : 누수 부분 및 강도 확인 ○ 중간부 : 누수 부분 및 강도 확인 ○ 배수부 : 누수 부분 및 배관 사이즈 확인
○ 급수 부 섹션 연결 피팅 류	○ 휘팅 류의 배관 자재에 맞게 사이즈 확인
○ 배수 부 섹션 연결 배관 류	○ 배관용 PVC자재에 맞게 사이즈 확인
○ 제작 소재	○ 자외선에 변형이 안가는 ABS소재 선정

[범용자재 활용 가능]

[연결 예시]

[범용 자재를 통한 물높이 조절 가능]

[재배 거터 라인 모듈화 사진]

○ 재배거터의 최종 개선 사항

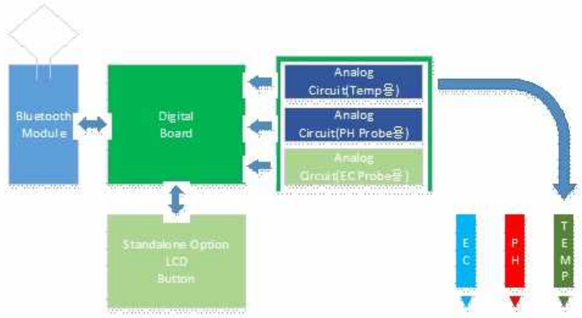
- 식물공장 설치 시 재배거터는 양액 배합액이 흐르는 공간으로 기존에는 하나의 형태로 제작이 되며, 길이가 길어 짐에 따라 본딩 처리 및 테이프 처리가 이루어 지며 시간이 지남에 따라 누수가 생길 수 있는 문제점이 발생 하게 됨.
- 누수가 발생 하지 않도록 10m를 한번에 제작을 하게 되면 포장 및 이송에 과다한 비용이 발생 하게 되고, 설치 현장 이송 시 이동 동선에 대한 제약이 발생 하게 됨.
- 재배거터, 급수/배수/중간 연결 브라켓을 금형화 하여 원하는 길이 맞춰 절단/제작을 하여 포장 및 이송에 불필요한 비용을 감소하여 문제점을 개선.
- 식물공장 전용 급/배수 배관을 사용하지 않고, 일반 시중에서 판매하는 원터치 휘팅 및 PVC 파이프를 통하여 배관 구성을 할 수 있도록 개선.
- 추후 식물공장 운영 시 인건비 절감을 하기 위한 재배 관리 자동화 시스템에 맞추어 개선.

다. 양액제어 시스템의 개발

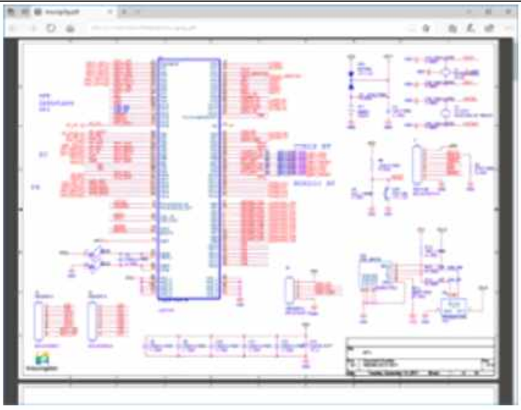
○ 1 Bay에 독립구조로 양액제어 시스템 개발

○ 양액 원액은 1 cc/sec 단위로 조절하여 보다 정밀하고 원하는 pH, EC값에 도달 할 수 있도록 구성

○ MODBUS-485 통신 방식으로 추후 통합제어가 가능하도록 소프트웨어 구성



[예상 블록도]



[샘플 회로설계]

[Sample 연구동 테스트]

[원액 투입 펌프의 연동 테스트]

[수치 변화도 테스트]

[수치 변화 비교 테스트]

○ 양액제어 시스템의 재배베드 별 독립적인 구성

[재배베드의 독립적 구성]

○ 각 재배베드 양액 배합통 부의 독립적으로 구성을 하여 베드 별 EC/pH 값 변화 가능

○ PH/EC센서의 부력 구조로 관리자가 쉽게 보정과 교체 작을 할 수 있도록 제작

○ 양액제어 시스템 개발 규격

측정사양	○ 측정범위	- pH 0.0 ~ 14.0, EC 0~5dS/m,0~10dS/m(선택)
	○ 불확도(@25℃)	- pH ±0.05 (@ pH3 ~pH8) - EC ±2% F.S. (@ 0 ~4dS/m)
	○ 온도보정계수	- EC 자동온도보정계수 5~40℃,(β =2%/℃)
	○ 데이터갱신주기	- 1 초이하
일반사양	○ 초기 안정화시간	- 2 분이하
	○ 본관온도	- -20 ~ 80℃
	○ 작동환경	- 0 ~ 50℃, Max95%RH
사용자인터페이스	○ 표시기능	- 128x 64 그래픽LCD
	○ 설정기능	- 버튼 스위치4개
전기적사양	○ 사용전원	- 24VDC±5V
	○ 소비전력	- 1.5W이하
	○ 아날로그출력	- 4 ~20mA
	○ 통신출력	- RS-485 (Baudrate38,400bps)
	○ 릴레레이출력	- SPST AC250V, 3A Max 2접점
교정기능	○ 수동교정	- pH Offset (pH7), Span (pH4 orpH10)
		- EC Offset,Span
외형	○ 외형크기	- 180mm x 130 mm xH36mm
	○ 무게	- 약 300g(전극제외)
	○ 고정구간격	- Φ4.0x4개소 162x112

[양액제어 시스템 구성]

○ 양액제어 시스템의 개발사항

- 양액제어 시스템은 기존 시설하우스에 의해 많이 개발이 되어 있으며, 시설 하우스의 양액제어시스템은 통합제어 시스템과 원액 혼합에 벤츄리 시스템이 적용이 된다. 시설 하우스는 많은 양의 물을 처리하고 비순환구조에 적합하게 개발이 되어 있으며, 식물 공장은 적은양의 물을 사용하며 배양액의 순환하는 구조를 가지기 때문에 적합하지 않으며 소형 양액 제어 시스템 개발로 개별 구성으로 개선.

라. 인공광원의 최적화 선정

○ 식물의 광합성에 필요한 조건인 광의 파장, 광합성에 필요한 밝기, 균일한 성장을 위한 광의 균일한 조사 조건을 개발

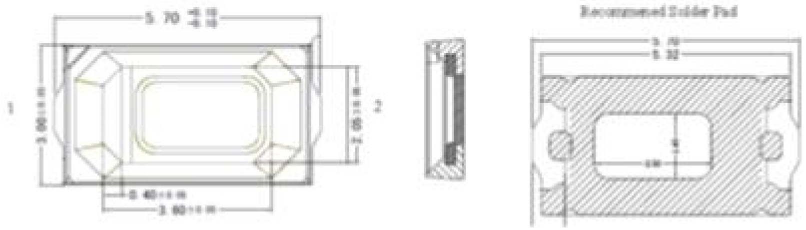
○ 고효율 조명제품을 개발하여 전력소비 감소를 통하여 운영비용 절감을 위한 조명 개발

○ 제품은 고객사양 또는 특정 사용 조건에 맞추어서 제작을 하다보니, 단가가 높아 보급형으로 공급이 어려운 부분이 있었으나, 이번 개발 제품은 보급형으로 최적 조건을 만족하면서 취급이 편한 조명 제품개발

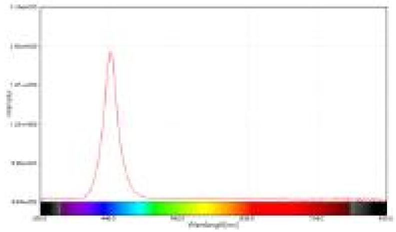
○ LED의 기본 사양 선정

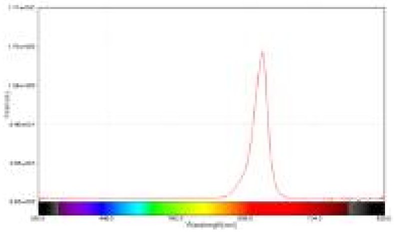
LED구분	파장(nm)	Luminous intensity (@150mA)	Forward Voltage (@150mA)	소비전력	Chip Material
RED	660nm	4-5cd	2.2~2.4V	0.5W	AlGaInP
RED	620nm	5-6cd	2.1~2.5V	0.4W	AlGaInP
BLUE	450nm	2-3cd	3.0~3.2F	0.5W	InGaN
White	450nm+580~630nm	10cd	3.0~3.2V	0.5W	InGaN

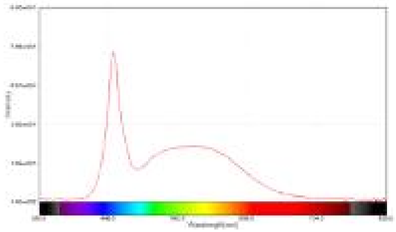
○ LED PKG 도면



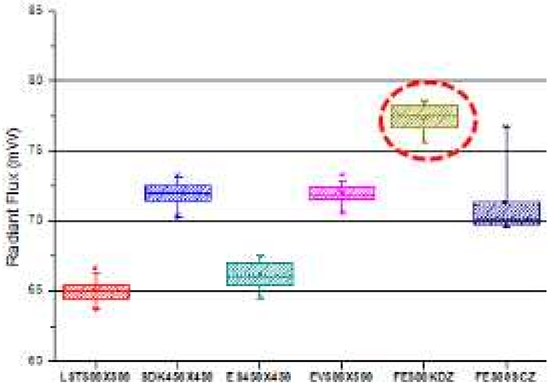
○ LED 파장

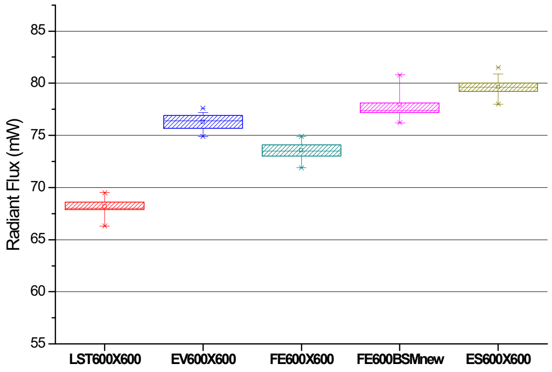

[Blue Chip 파장]


[Red Chip 파장]


[White Chip 파장]

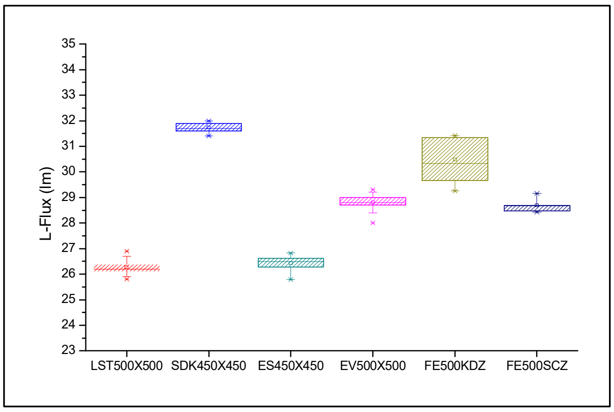
○ Blue Chip 평가자료

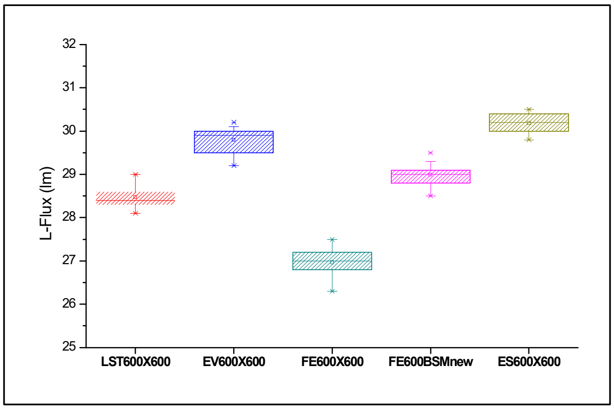


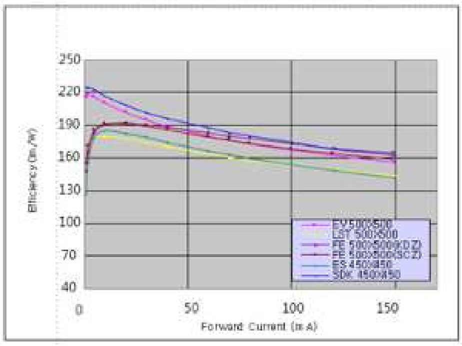


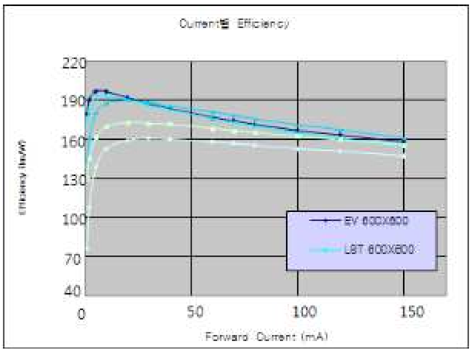
※ A사 파장의 효율 조사 내용

○ White Chip 평가자료

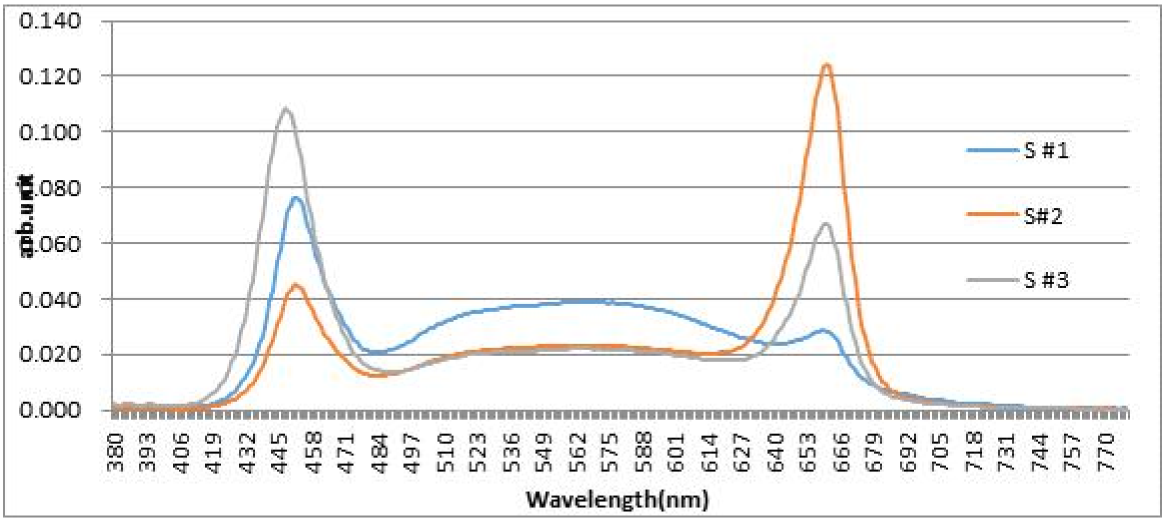








○ 식물생장 최적 LED비율 확보 및 LED조명 기구 제작

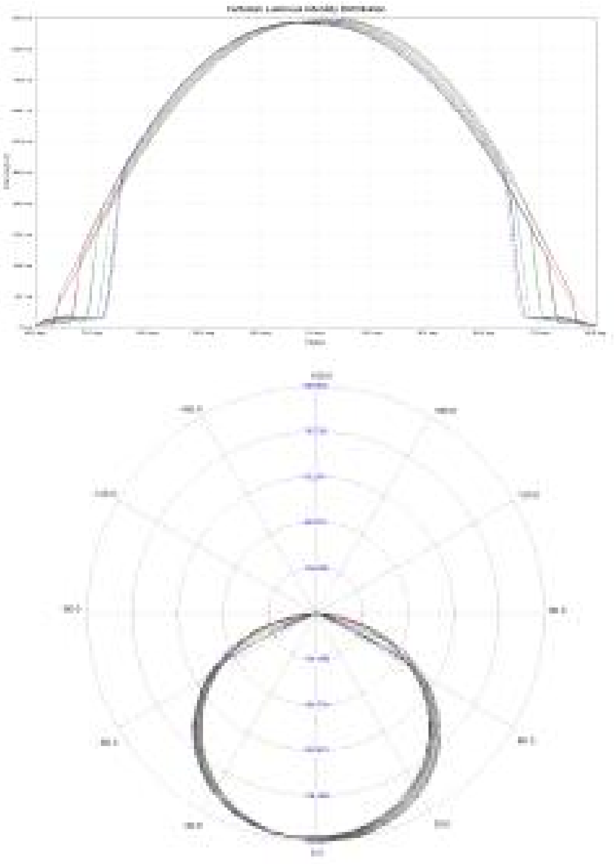


Item	unit	Sampled #1	Sampled #2	Sampled #3
광속	Øv [lm]	2549.70	1688.40	1575.30
색온도	CCT [K]	5916.00	3968.00	27506.00
광효율	lm / W	126.85	84.21	77.99
소비전력	W	20.10	20.05	20.20
역률	PF	0.97	0.96	0.94
연색성	Ra	86.58	76.20	67.52
전원	Vf [V]	220.07	220.10	220.07
전원	If [mA]	90.00	90.00	100.00

Øv [lm]	2549.70	1688.40	1575.30
lm/W	126.85	84.21	77.99
u-mol	128	128	119
u-mol/W	6.368	6.395	5.891

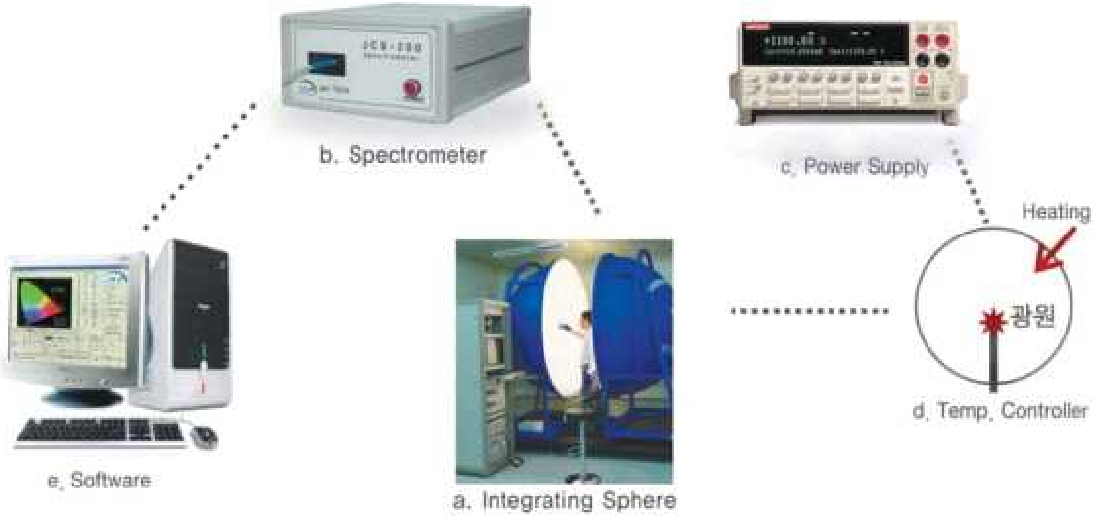
마. 광 비율 별 LED 파장 조사

○ 광특성 조사



[광특성 측정 데이타]

[광특성 조사 장비]



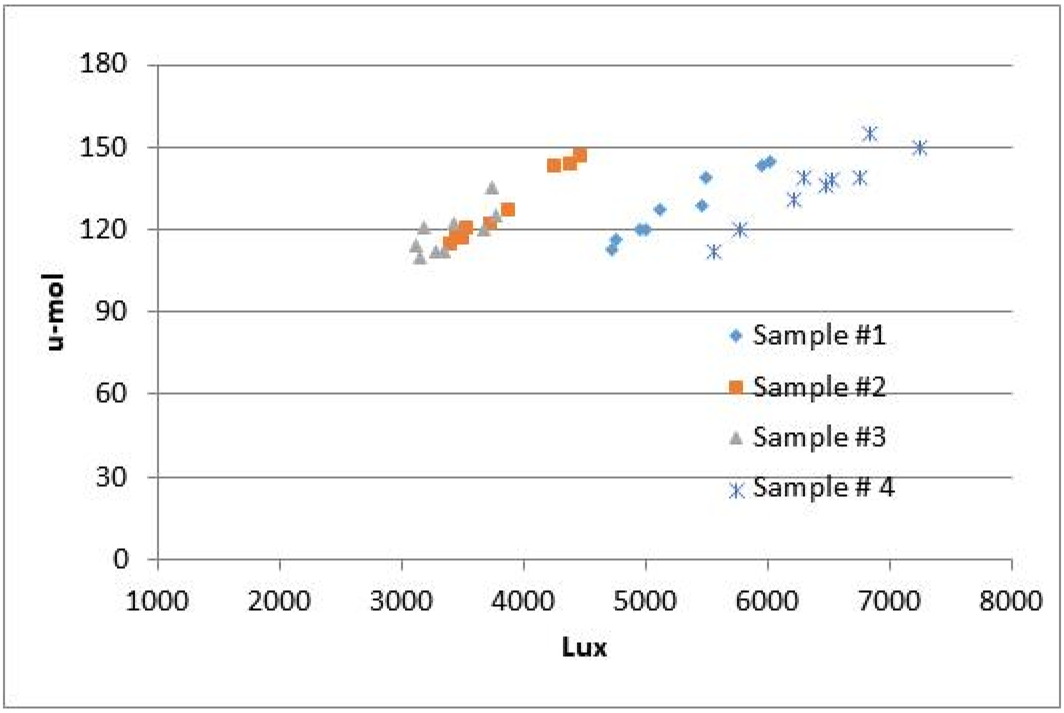
[광특성 측정 장비 구성]

NO	구분	품목	설 명	S/N
1	**Standard Accessories**		Sphere diameter: 40" aluminum	JC9M03LMS80008
a	**Integrating sphere**	~~적분구 1m~~	Sphere Material: Diffuse white reflectance coatings Coating Reflectance: 96% (±1%) Reflectance (380 to 780 nm) Auxiliary lamp 20W 12V 0.5A	
b	**Spectrometer**	JCS-350W	Imaging array: High sensitivity linear CCD array # of pixels : 1024 pixels Wavelength range : 380 ~ 780nm Filter Wheel Built in filter sets: ND1 ~ 2 Band pass : 5nm Dynamic Range : 16bit Stray Light : < 0.2%	12-S3501030

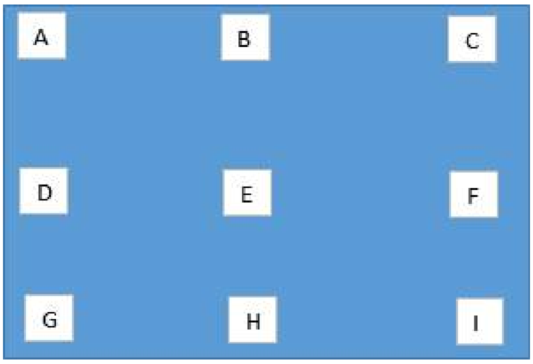
[적분구, 분광기 측정 장비 사양]

○ 균제도 측정

Point	Sample #1		Sample #2		Sample #3		Sample # 4	
	u-mol	Lux	u-mol	Lux	u-mol	Lux	u-mol	Lux
A	116	4760	115	3400	112	3340	120	5780
B	120	5000	118	3450	121	3190	138	6530
C	113	4720	117	3490	114	3120	136	6480
D	143	5960	143	4250	120	3680	139	6760
E	145	6020	144	4380	135	3740	150	7260
F	139	5490	147	4470	125	3780	155	6840
G	127	5120	121	3520	112	3280	112	5560
H	129	5470	122	3730	122	3430	131	6220
I	120	4950	127	3880	110	3150	139	6300
aver.	128	5276.67	128.222	3841.11	119	3412.22	135.6	6414.444
Power	20.10	20.10	20.05	20.05	20.20	20.20	24.40	24.40
aver/W	6.36816	262.521	6.39512	191.577	5.89109	168.922	5.556	262.8871



[측정 데이터]



[측정 위치]

○

Sensor Compatibility

Type "SA" sensors (e.g. LI-190SA) are recommended for use with the LI-250. Older type "SB" sensors (e.g. LI-190SB) can also be used by removing the calibration connector. Other types of older LI-COR sensors can be made compatible by adding a BNC connector to the cable.

LI-250A Light Meter with LI-190SA Quantum Sensor and 2003S Mounting and Leveling Fixture.

LI-250A Specifications

Accuracy:
- **25°C:** Typically ± 0.4% of reading ± 3 digits on the least significant digit displayed (all ranges).
- **0 – 55°C:** Typically ± 0.6% of reading ± 3 digits on the least significant digit displayed (all ranges).

Range Selection: Autoranging (3 ranges).
Linearity: ± 0.05%.
Sensors: Any LI-COR type "SA" or type "SB" sensor with BNC connector; Quantum, Pyranometer, or Photometric. Older LI-COR radiation sensors, or those without any connector must have a BNC connector installed. Contact LI-COR.
Sensor Calibration: Each sensor is supplied with a calibration multiplier. Calibration multipliers for two sensors can be stored in memory. Calibration multipliers are entered from the keypad.
Signal Averaging: Sensor output can be collected and displayed as a 15-second average (approximately 60 readings). Averages are retained on the display in *HOLD* mode.
Display: 4 1/2-digit LCD display. Updated every 0.5 seconds in Instantaneous mode.
Keypad: Sealed, 5-key tactile response keypad.
Battery Life: 150 hours typical with continuous operation.
Power Requirement: One 9V Eveready Alkaline #522 or equivalent (LI-COR model number 216).
Low Battery Detection: Low battery indicator displays when approximately 20 hours of battery life remaining.
Operating Conditions: 0 to 55°C, 0 to 95% RH (non-condensing).
Storage Conditions: -55 to 60°C, 0 to 95% RH (non-condensing).
Size: 14 cm L x 7.7 cm W x 3.8 cm D (5.5" x 3" x 1.5").
Weight: 0.26 kg (0.57 lbs).
Warranty: 1 year parts and labor.

LI-200R Specifications

- Absolute Calibration: Calibrated against an Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) under natural daylight conditions. Calibration uncertainty under these conditions is estimated as ± 3% typical, within ± 60° angle of incidence.*
- Sensitivity: Typically 75 μA per 1,000 W m^{-2}
- Linearity: Maximum deviation of 1% up to 3,000 W m^{-2}
- Response Time: Less than 1 μs (2 m cable terminated into a 147 Ohm load)
- Temperature Dependence: ± 0.15% per °C maximum
- Cosine Correction: Cosine corrected up to 82° angle of incidence
- Azimuth: < ± 1% error over 360° at 45° elevation
- Tilt: No error induced from orientation
- Operating Temperature Range: −40 °C to 65 °C
- Relative Humidity Range: 0% to 95% RH, Non-Condensing
- Detector: High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced)
- Sensor Housing: Weatherproof anodized aluminum body with acrylic diffuser and stainless steel hardware; O-ring seal on the sensor base
- Size: 2.36 cm diameter x 3.63 cm (0.93" x 1.43")
- Weight: 24 g head; 60 g base and cable (2 m) with screws
- Cable Length: 2 m, 5 m, 15 m, 50 m (6.5', 16.4', 49.2', 164')

Specifications subject to change without notice.
*Preliminary specification

[균제도 측정 장비]

○ 재배력 테스트를 위한 샘플 제작

B0:R1:W9 Sample #1

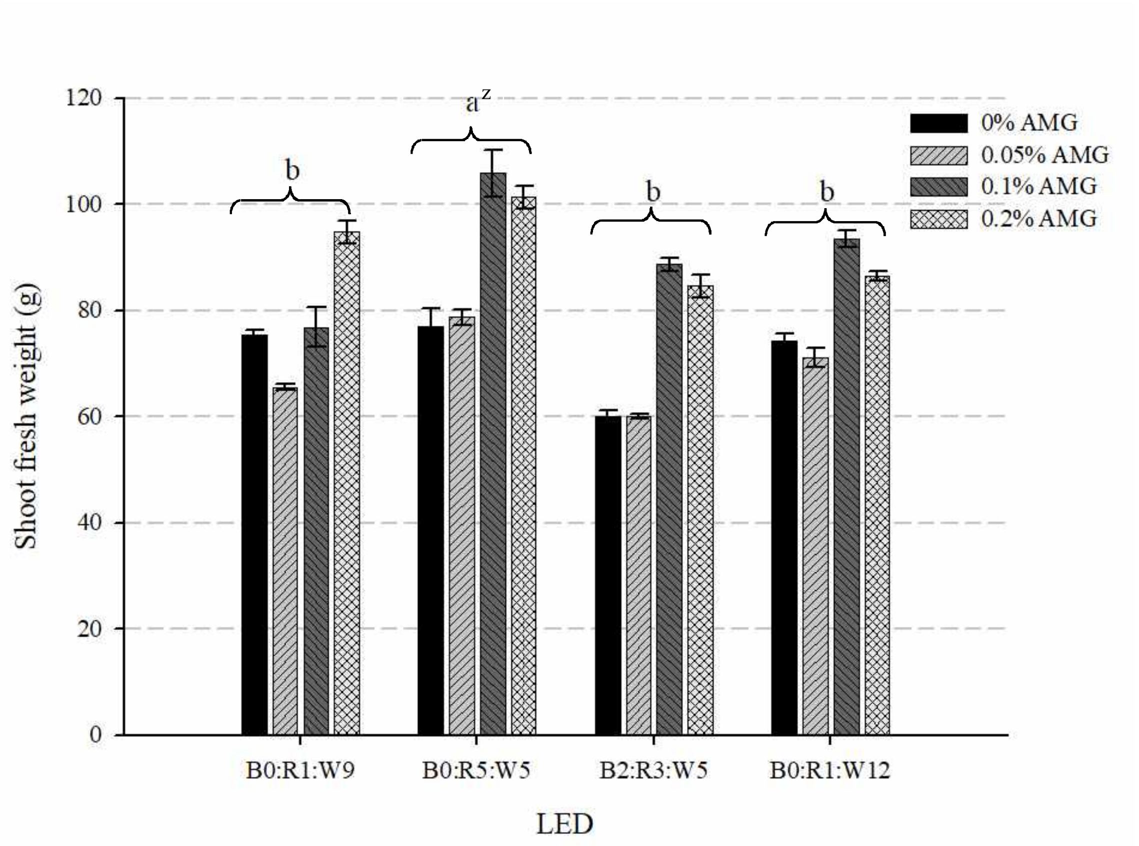
B0:R5:W5 Sample #2

B2:R3:W5 Sample #3

B0:R1:W12 Sample #4

○ 인공광원 경제성을 고려한 최적 선정 결과

- 본 파장별 재배 테스트 결과를 보면 B0:R5:W5는 다른 연구에서 보고 된 바와 같이 상추의 성장에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이는 적색 LED가 성장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 고려된다. 적은 수의 적색 LED에도 불구하고, 가장 높은 광도(136μmol·m-2·s-1, 24W)를 갖는 B0:R1:W12 LED는 백색 LED의 수가 B2:R3:W5와 B0:R1:W9보다 많았기 때문에 두 번째로 가장 좋은 상추 성장을 나타낸 것으로 판단되었다. 그러나, 적색 LED가 백색 LED보다 약 10 배 더 비싸므로, 적색 LED와 백색 LED를 조합 할 때, 적절한 광 강도를 확보하기 위해 백색 LED의 수를 증가 시켜서 경제적으로 제품 구성을 하는 것이 최적이라고 판단한다.

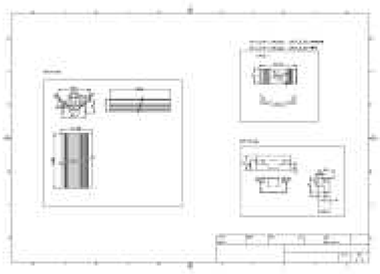
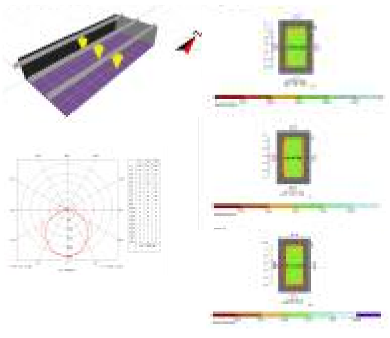


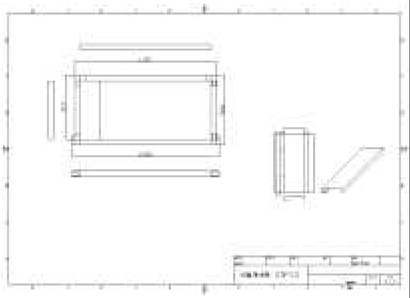
[LED 파장별 재배 테스트 결과]

○ 재배 프레임과 인공광원의 설계/제작

- 인공광원의 Heatsink의 기구 설계를 기존 선정 LED의 발열양에 설계치에 3배를 잡아 추후 광원의 변경에도 Heatsink는 그대로 사용 할 수 있도록 설계
- 밀폐형 식물공장은 다수의 LED가 들어가므로 LED Bar 별 배선 연결과 프레임의 조립 구조를 감안하여 제작
- 설치 인건비를 절감하기 위하여 3Bar 씩 하우징을 제작하여 현장 설치 시간 단축

※ 165m² 에 1,152 Bar 소요

		
모듈기구 설계도	광원Heat sink, 캡	광학 시뮬레이션

		
기구 설계 도	광원 고정 핀 금형작업	Sample 제작

2. 환경 시스템 제품 설계를 위한 환경 평가와 개발

(1) 식물공장 공조 시스템

가. 식물공장 내부 환경조건 평가

○ 식물공장 내부 온·습도 평가 및 결과

- 과제 협동기관에서 보유한 무선 온·습도 센서를 사용하여 <그림 3>과 같이 식물공장
- 내부에 총 40개소의 온습도 센서를 설치하여 식물공장 내부 환경 평가를 진행함

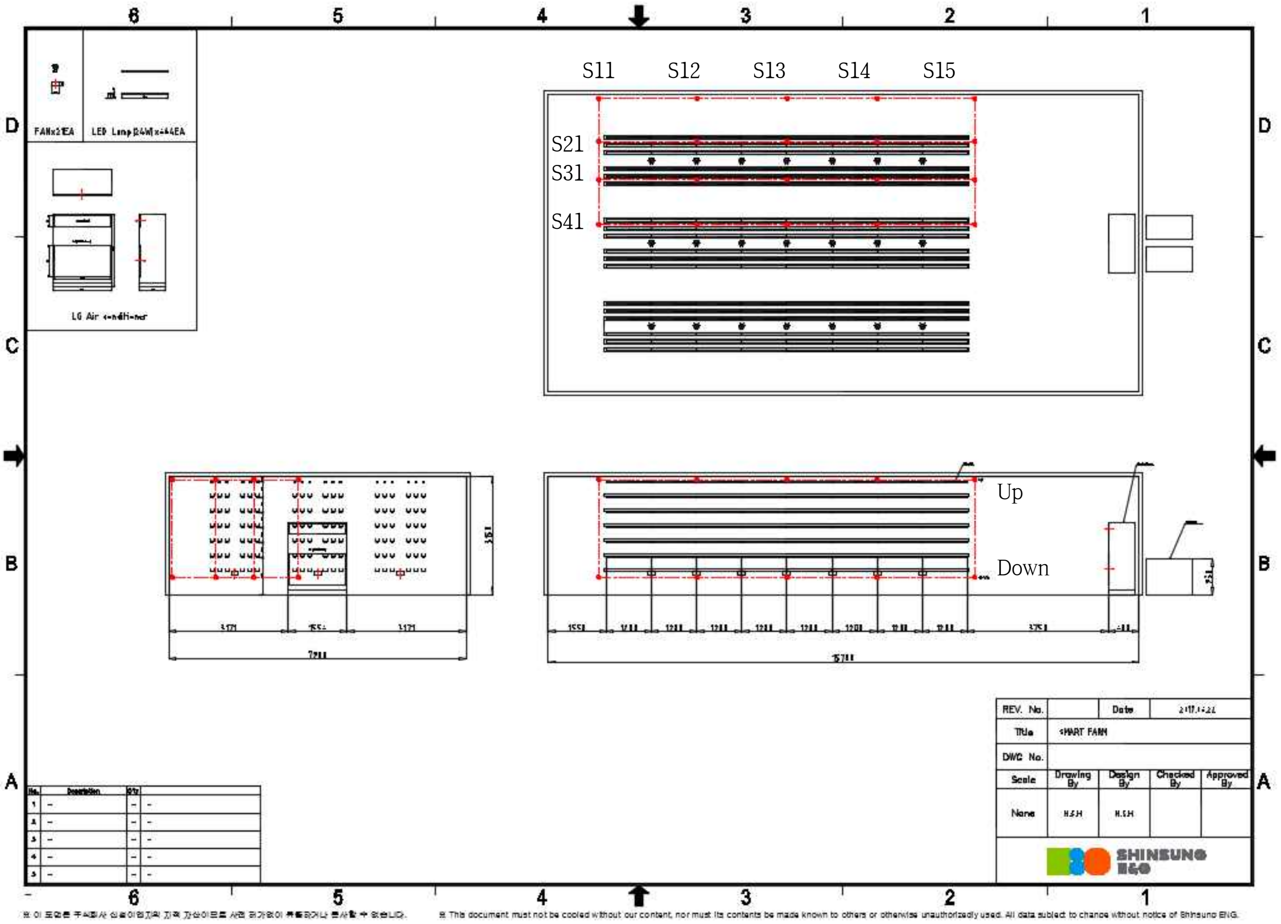
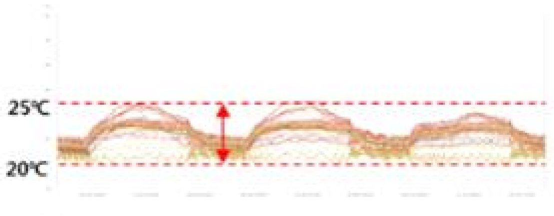
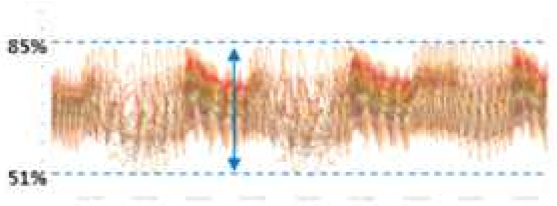
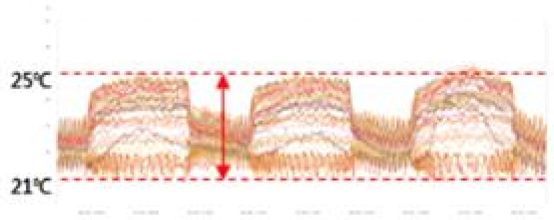
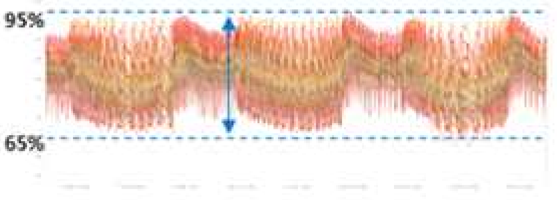
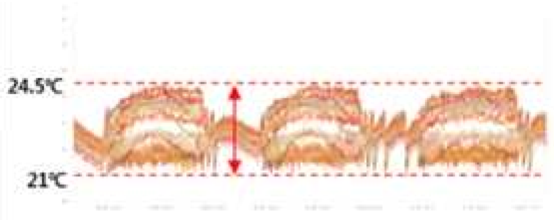
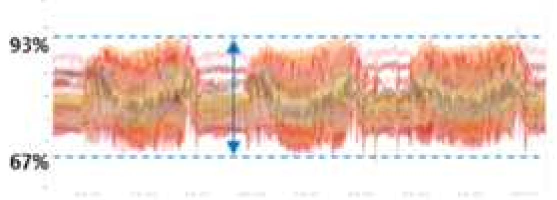
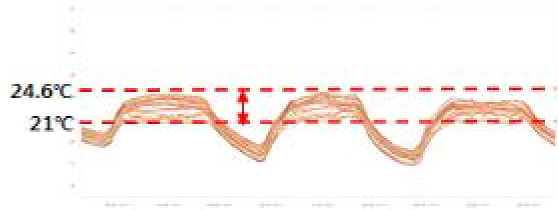
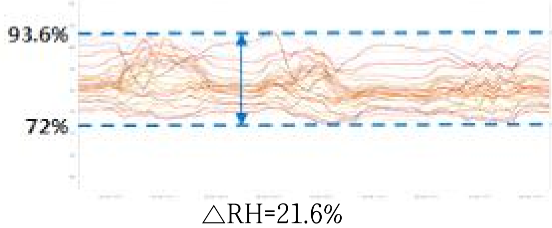
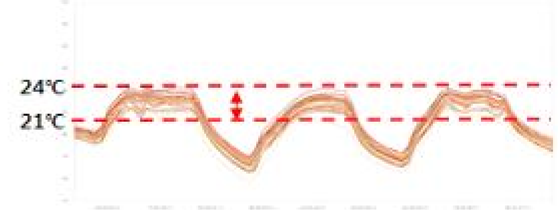
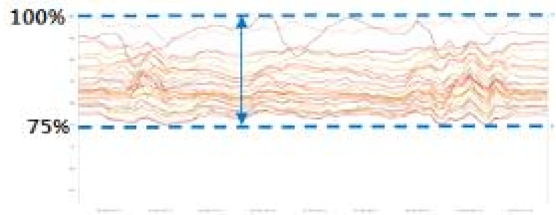


그림 4. 식물공장 내부 온·습도 센서 설치 위치

- <표 1>에 식물공장 내부의 온·습도를 측정한 결과를 나타냄
- 평가결과 총 40곳의 온습도 센서 중 공조기와 가까운 곳에서는 온도가 낮고, 벽면과

가까운 곳에서는 온도가 상대적으로 높은 현상을 보임.

- 따라서 실내 위치에 따른 온도편차가 발생하며, 8월은 약 5℃의 온도차가 발생하고 12월은 3℃로 외기온도가 추운겨울에 온도차가 감소 함.
- 식물공장 내부에 열출입이 존재하며, 여름철과 같이 고온의 외기조건에 의해 식물공장 내부 온도가 상승됨을 알 수 있음.
- 2월은 엽채류 재배 개수가 증가함에 따라 상대습도가 증가되는 형태를 보임.

월	온도 그래프	습도 그래프
8월	 △T=5.0℃	 △RH=34%
9월	 △T=4.0℃	 △RH=30%
10월	 △T=3.5℃	 △RH=26%
11월	 △T=3.6℃	 △RH=21.6%
12월	 △T=3.0℃	 △RH=25%

<표 1> 식물공장 내부 8~12월 온·습도 측정 결과

○ 식물공장 공조기 평가 및 결과

- <그림 4>는 식물공장 내 공조기의 소비전력 그래프로, On/Off 제어에 의해 일정한 소비전력 패턴을 보이고 있음
- 이러한 운전방식은 압축기 가동시 높은 전력 소비되며, 일정한 공급조건을 만족하기 어려움
- 현재 식물공장에 설치된 공조기는 380V로 전원이 공급되며, 압축기 구동시 약 18kW의 높은 전력이 측정 됨
- <그림 5>는 주관기관 식물공장에 현재 설치된 공조기의 공급(SA)/리턴(RA)의 온·습도를 측정한 결과로 공조기의 운전과 패턴과 동일한 온·습도 패턴을 보이고 있음
- 이로 인해 약 10~23℃의 온도편차를 보임
- 이는 식물 공장 내부 온도 균일도를 저하시킴. 또한 엽채류 식물 성장의 적정온도는 15~25℃로, SA측의 10℃ 저온 공기의 유입은 엽채류 식물 성장에 있어 방해요소로 작용될 것으로 예상 됨.

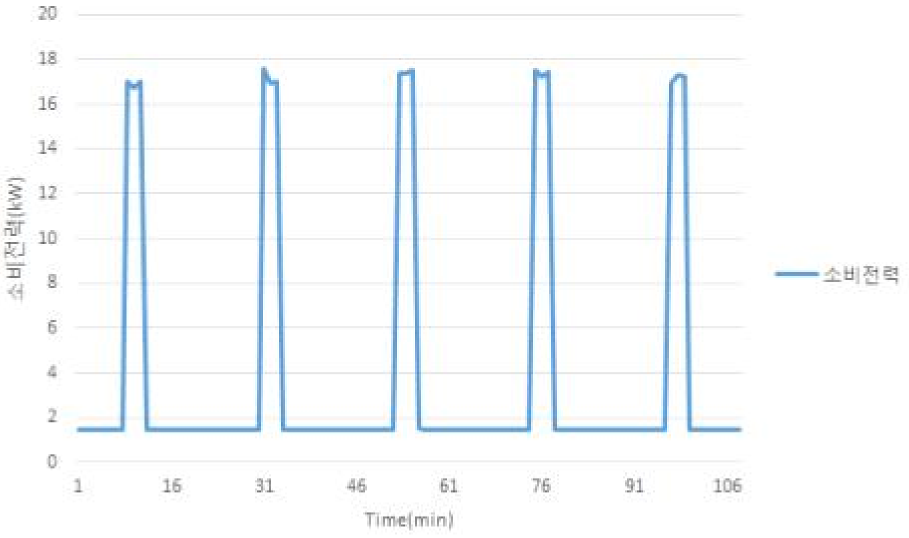


그림 4. 식물공장 내 공조기의 소비전력 그래프

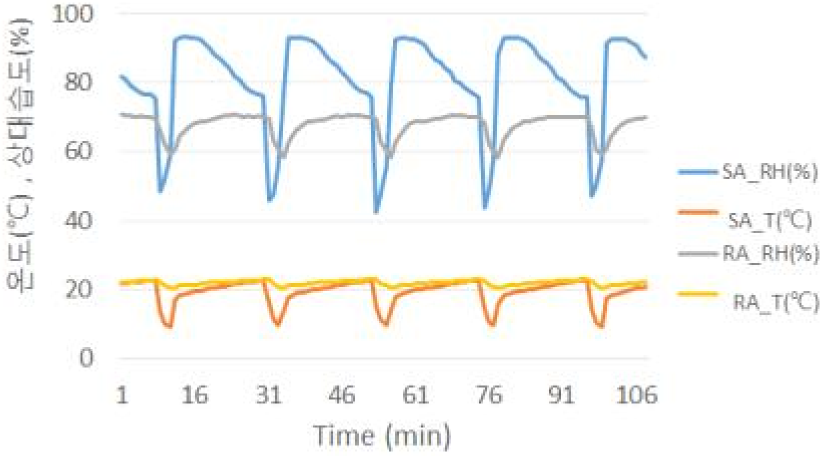


그림 5. 공조기 공급(SA) 및 리턴(RA) 온·습도 및 절대습도 그래프

○ CO2 센서를 이용한 식물공장 내부 CO2 농도 측정 및 결과

- <그림 6>은 CO2 센서를 이용한 식물공장 내 CO2 농도 측정 결과 그래프임
- 식물공장 내부에 CO2 발생기가 없으므로 500~600PPM 으로 유지됨식물 성장 조건 기준인 농도 1,000~1,500 PPM에는 미치지 못함
- 식물 성장 조건을 충족시키기 위한 CO2 발생기 추가설치가 필요하다 판단됨

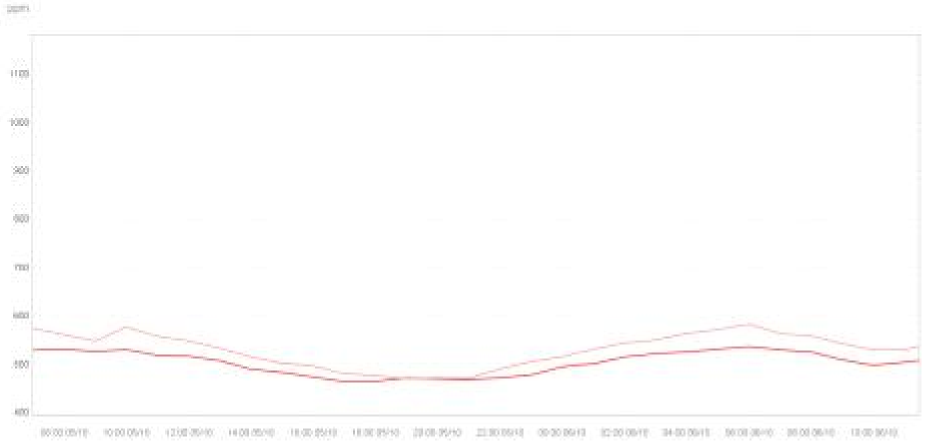


그림 6. 식물공장 내부 CO2 농도 측정 결과 그래프

○ 식물공장 GC-MS, IC를 이용한 대기질 평가 및 결과

- <그림 7>은 GC-MS, IC 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비로, 해당 장비를 이용해 평가 진행함
- GC-MS 평가는 VOCs 평가로 고체흡착관(Supelco Tenax TA tube)을 펌프(MP-Σ30KN, SIBATA, Japan)에 연결하여 0.1L/min으로 10분간 포집 한 후 gas chromatograph-mass(GC-MS) 분석을 함
- 분석장비는 Mass Spectrometer(MS; Clarus 600T, Perkin Elmer, USA),Gas Chromatograph(GC; Clarus 600,Perkin Elmer, USA)를 사용하였으며, 컬럼은 Elite-1 capillary column(0.32mm X 60m, Perkin Elmer, USA)을 사용함.
- GC oven온도는 50℃에서 5분간 유지한 후, 200℃까지 5℃/min으로 승온 시켰으며, 5분간 유지 후 280℃까지 7℃/min로 승온 시켜 5분간 유지시킴. 또한 MS의 ion source 온도는 220℃에서 full scan모드로 정성 및 정량 분석함
- IC 평가는 이온성 물징 평가로서 평가는 3차 증류수 100mL가 담긴 시료채취관(impimger)에 펌프(MP-Σ300, SIBATA, Japan)를 연결하여 2L/min으로 2시간 포집 한후 Ion Chromatograph(IC)분석을 진행함
- 음이온성 물질은 IonPac AG18 컬럼이 연결된 분석기(ICS-2000, Dionex, USA)로 분석하였으며, 양이온성 물질은 IonPac CS12A 컬럼이 연결된 분석기(DX600, Dionex, USA)로 정성 및 정량 분석함

MP-Σ30 Adsorption

항목		내용
흡착제		Tenax-TA
샘플러	Maker	SIBATA MP-Σ30
	유량/시간	100ml/min 10ml/min
	총샘플량	1.0L

(a) VOC 샘플링 장비

MS GC ATD

장비	내용
ATD	Turbo Matrix 650
GC	CLARUS 600
MS	CLARUS 600T MSD

(b) VOC 분석 장비

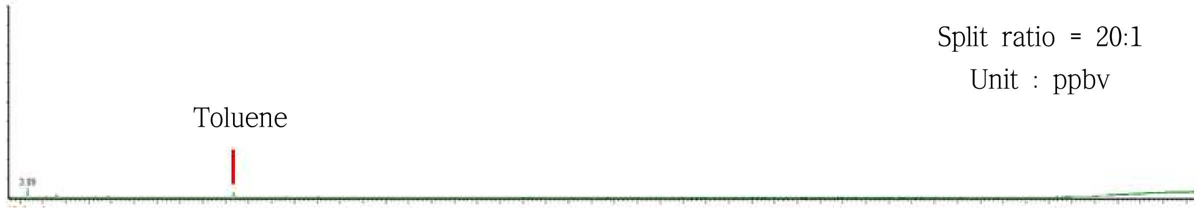
Impinger ICS2000 DX600

장비	내용
음이온	ICS2000
양이온	DX600
시료주입	AS40 Automated Sampler

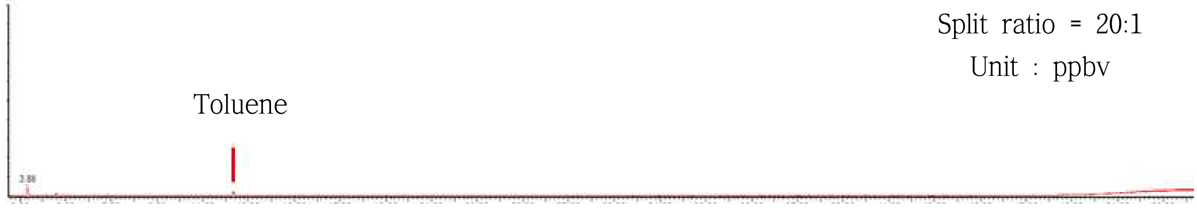
(c) 이온성 가스 분석 장비

그림 7. GC-MS, IC 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비

- <그림 8>은 VOCs 평가를 위한 GC-MS 분석 결과로써 Toluene이 미량 검출됨을 확인함. Toluene은 공동 시설에 대한 실내 공기질 권고 기준(다중이용시설 등의 실내 공기질관리법 시행규칙, 별표 3 실내공기질 권고기준 : 총 휘발성 유기화학물 500 μg/m3 이하 [132.8ppb, 25℃, Toluene 기준])에 비해 매우 낮은 농도임



(a) 식물공장 내부

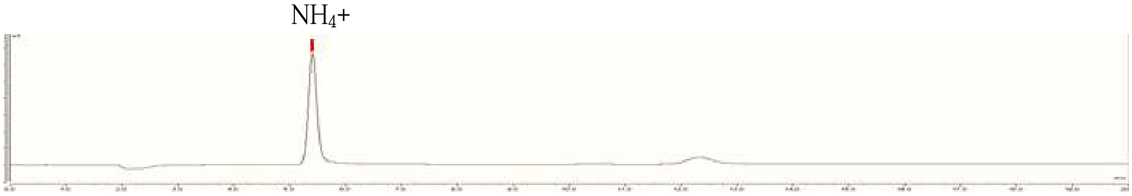


(b) 사무실

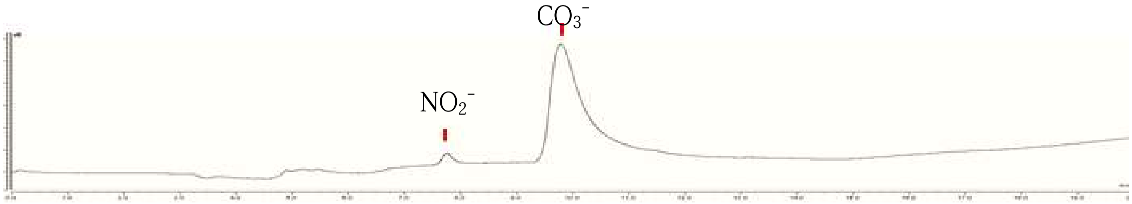
Name	CAS No.	M.W.	Formula	VOCs 농도 (ppbv)	
				식물공장 내부	사무실
Toluene	108-88-3	92	C7H8	6.3	6.8

<그림 8> 식물공장 내 VOCs 가스 측정 결과 그래프

- <그림 9>는 IC 분석 결과로써 NH4+, NO2- 가 검출 되었으나 각 물질의 평균 농도는11.2, 2.3ppb로 일반 대기중에 존재하는 농도 수준으로 식물공장 내 식물생장에 영향을 주지 않음



(a) 양이온



(b) 음이온

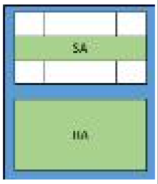
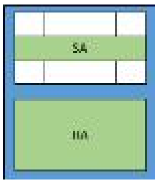
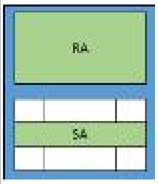
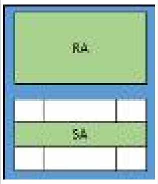
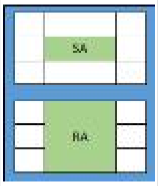
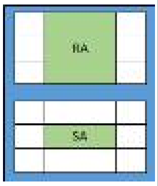
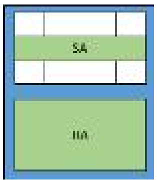
조성	식물공장 내부 농도(ppbv)	
	1차	2차
NH_4+	11.31	11.19
NO_2-	2.38	2.24

<그림 9> 식물공장 이온성 가스 측정 결과

나. CFD를 이용한 공조 환경 최적화

○ 식물공장 내부 기류 평가

- 식물공장 내부 기류 및 온도 균일도 파악을 위한 유동해석을 진행함
- 항온항습기 위치에 따라서 <표 2>와 같이 7개의 Case를 선정하여 식물공장 내부 유동 해석을 진행 함
- 내부 유동해석은 ANSYS CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하였으며 식물공장 내부의 풍속 및 온도 균일도 향상 목적으로 해석을 진행 함
- 사용 프로그램 및 해석에 사용된 해석 기법은 <표 3>, <표 4>와 같음

Case	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
항온항습기 입출구 위치							
SA 풍량 (CMH)	12,000	12,000	12,000	12,000	7,500x2EA	7,500x2EA	15,000
바닥팬	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off
상부팬	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off
특징	현재운전조건	상부토출 Fan 미사용	하부토출	하부토출 Fan 미사용	Daul 항온항습기	Daul 항온항습기	Duct 타입

<표 2> 항온항습기 해석 Case

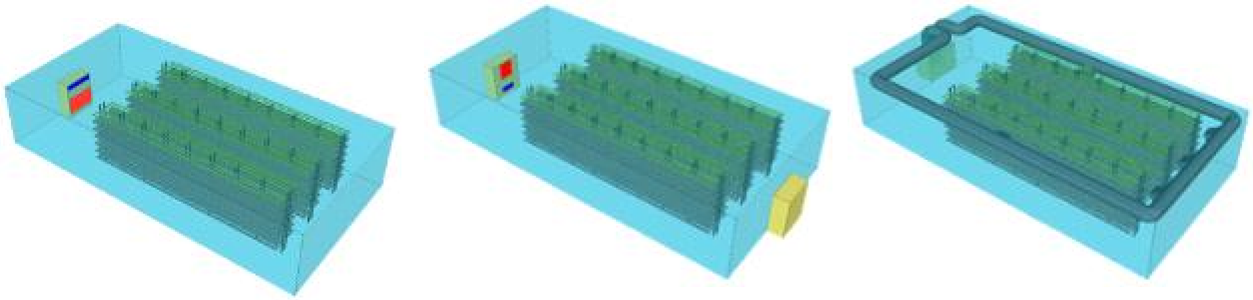
Case	Program
Modeling	PTC Creo 3.0
Mesh	Ansys Workbench v18.0 Mesh Tool
Solver	Ansys Fluent v18.0
Post-Process	Ensight V10

<표 3> 사용 프로그램

항목	조건
난류모델	k-ε Standard model
Pressure-Velocity Coupling Scheme	SIMPLE
Spatial Discretization	2nd order Upwind
Momentum/Energy	2nd order Upwind

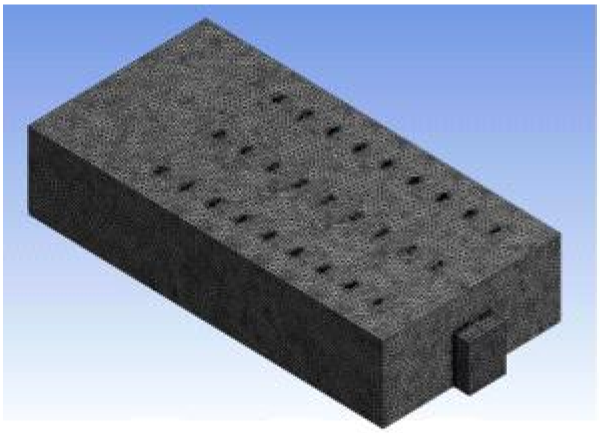
<표 4> 난류 모델 기법

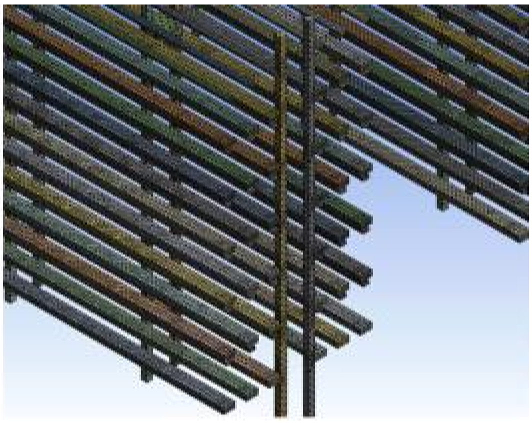
- <그림 10>은 식물공장 내부 모델링과 해석을 위해 사용된 Mesh 형태를 나타냄
- Mesh는 비 정렬 Tetrahedral mesh를 사용 했으며 약 10,930,000개의 cell을 구성



#1,2,3,4 Single 항온항습기 #5,6 Dual 타입 항온항습기 #7 Duct 타입 항온항습기

(a) 식물공장 모델링





(b) 식물공장 내부 전체 Mesh (c) 식물공장 내부 구성물 Mesh

그림 10. 식물공장 내부 풍속 및 온도 해석을 위한 모델링 및 Mesh

○ 식물공장 내부 기류 평가 결과
- 해석결과 현재 공조 방식인 #1은 항온항습기 설치 주변에서만 공조가 이루어지고 있으므로 식물공장 공조방식으로 부적합함.

- 해석결과 #5(Dual 타입)와 #7(Duct 타입) 공조방식이 현재공조 방식보다 기류 및 온도 일도가 좋음
- Duct 타입의 경우 덕트 설치비용의 및 설비공간의 제약 등의 문제가 있음
- 따라서 40~50 평에 필요한 10RT 이상의 항온항습기를 소형화하여 최적화 Test를 진행 하도록 함

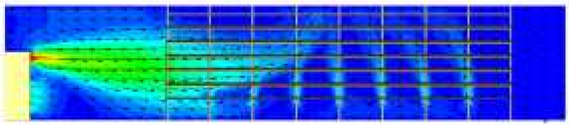
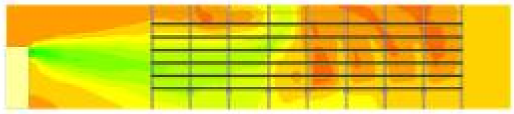
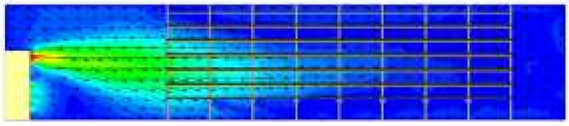
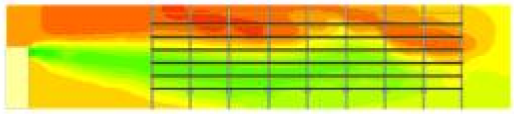
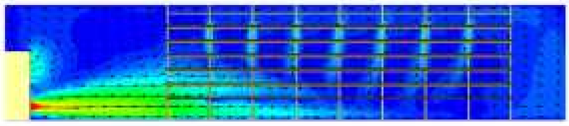
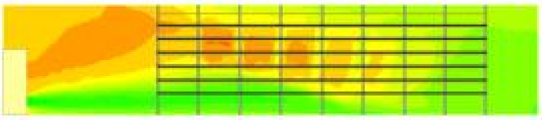
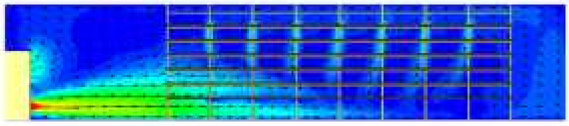
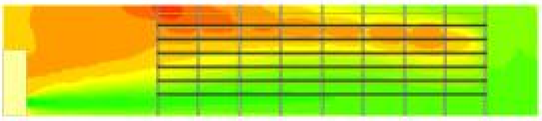
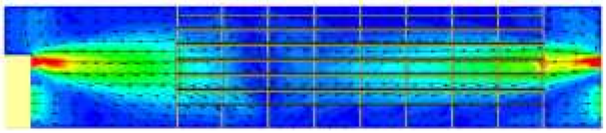
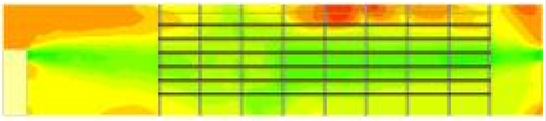
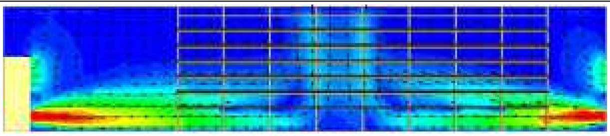
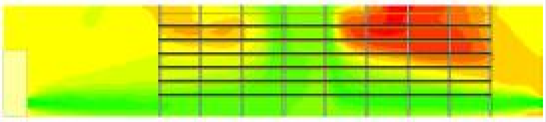
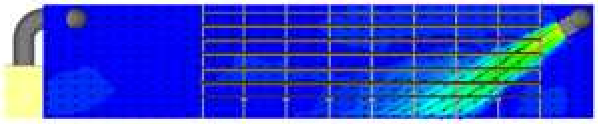
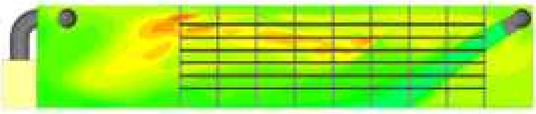
Case	기류분포	온도분포
#1		
#2		
#3		
#4		
#5		
#6		
#7		

그림 11. 식물공장 내부 기류 해석 결과

다. 식물공장의 냉/난방 부하 최적설계 및 자체평가용 일체형 항온항습기 개발

○ 식물공장의 냉/난방 부하 최적설계 Tool 개발

- 항온항습기의 용량을 선정하기 위하여 먼저 식물공장 내부의 부하를 계산해야 함

- 외부로의 열손실, 조명 부하, Pump 및 잠열부하 등 현재 식물공장 환경을 고려하여 <그림 12>와 같이 항온항습기 설계 Tool을 개발

식물공장 설계 tool

Size : 40평

Date : 2017.

Target Conditions

1)현열

1.1 벽체손실

가로	7.9	m
세로	15.7	m
높이	3.15	m
상부면적	124.0	m2
벽면 1	98.91	m2
벽면 2	49.77	m2
벽면적	148.68	m2
열관류율	0.45	W/m2K
겨울	2.5691904	kW
여름	1.173516965	kW

1.2 LED 현열

LED 입력	24	W
수량	869	EA
발열율	80	%
전체발열량	16.68	kW

1.3 Pump

LED 입력	150	W
수량	6	EA
발열율	100	%
전체발열량	0.90	kW

2) 잠열

1베이 당 가습량	500	kg/month
베이 수	4	EA
수분 변화량	0.0007716	kg/s
절대습도차	0.0003	kg/kg'

3) SA, RA 공기상태

식물공장조건 (RA)	온도	24	℃
	상대습도	65	%
	절대습도	0.01214	kg/kg'
	노점온도	16.85	℃
	엔탈피	54.9	kJ/kg
가습 전 상태	온도	19.000	℃
	상대습도	86.145	%
	절대습도	0.01184	kg/kg'
	노점온도	16.46	℃
	엔탈피	49.0	kJ/kg
식물공장조건 (재열 전 SA)	온도	16.46	℃
	상대습도	100	%
	절대습도	0.01184	kg/kg'
	노점온도	16.29	℃
	엔탈피	46.1	kJ/kg

4) 풍량 계산

현열부하	18.758	kW
안전율	10	%
전체 현열부하	20.63	kW
타겟 온도 상승	5.000	℃
질량유량	4.13	kg/s
체적유량	12,380	m3/hr
환기횟수	31.69	회/hr
면풍속	0.028	m/s

Result

5) 전체처리량

5.1 냉방부하

냉각량	36.31	kW
	31,224	kcal/hr
냉동톤	10.33	usRT
제상점검	19.96	

5.2 재열부하		
재열부하	10.48	kW

그림 12. 식물공장 설계 Tool

○ 자체평가용 일체형 항온항습기 차별화 방안

- 실외기 일체화를 통한 현장 시공 최소화(DIY) 기능

- BLDC 압축기 적용에 따른 운전 안정화

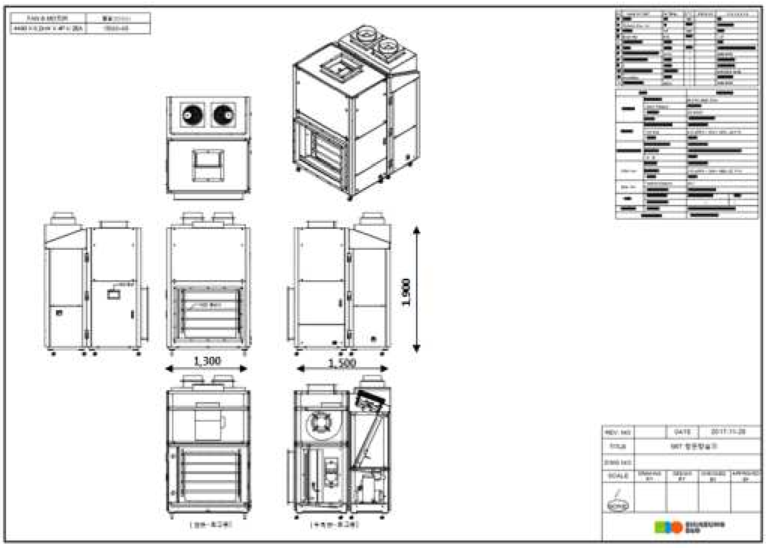
- 재배베이별 기류 제어를 위한 변풍량 기능

- 겨울철 야간 운전 시 냉해방지를 위한 안전기능 추가

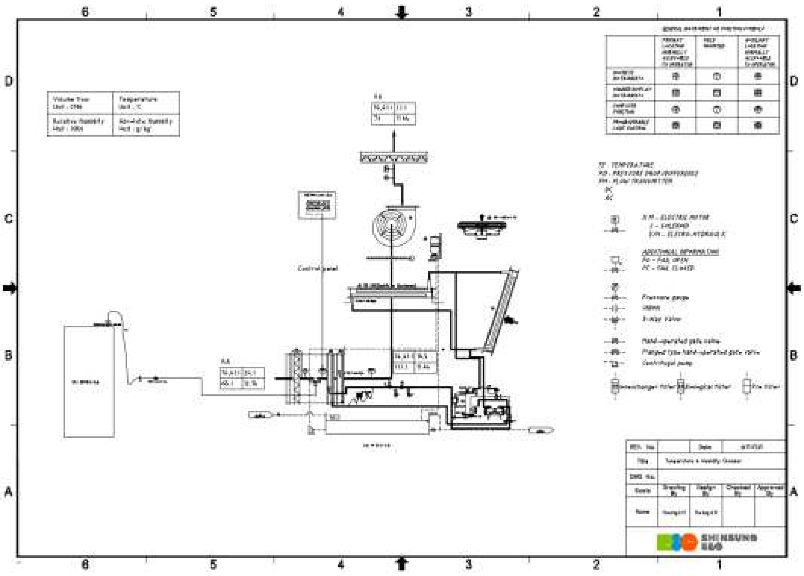
- 7인치 터치스크린 적용

- 스마트 App을 이용하여 항온항습기 제어(On/Off, 온·습도 조절, 재배사 내부상태 실시간 확인)
- 항온항습기 재열은 실외기 폐열을 활용함으로써 재열을 위한 운전비 절감
- 재배베이별 Main damper를 설치하여 재배 장소에만 기류 공급으로 운전비 절감
- Sub damper 설치 및 Open/Close 동작을 통해 온도 취약부분 개선

○ 자체평가용 일체형 항온항습기 및 평가챔버 개발
- 자체평가용 일체형 항온항습기의 외형도와 P&ID를 <그림 13>에 나타냄
- 자체평가용 일체형 항온항습기 사이즈는 W1,300 x L1,500 x H1,900이며 약 40평 식물공장장에 Daul 방식으로 사용 가능한 장비임
- <그림 14>는 제어 시스템 및 모니터링으로서 터치스크린에서 항온항습기 구동 및
- 온·습도, CO2 등의 데이터 확인이 가능 함



(a) 외형도

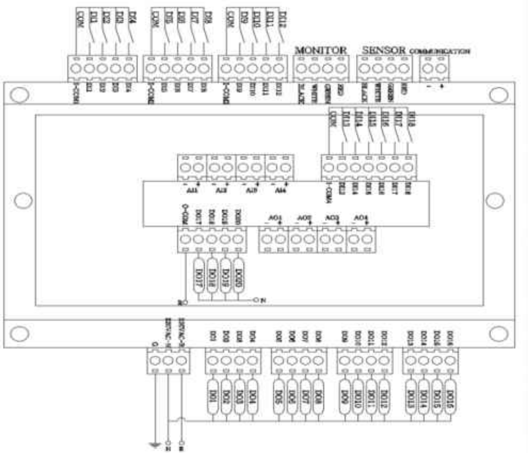


(b) P&ID

그림 13. 자체평가용 일체형 항온항습기 외형도 및 P&ID

(a) 모니터 로딩화면

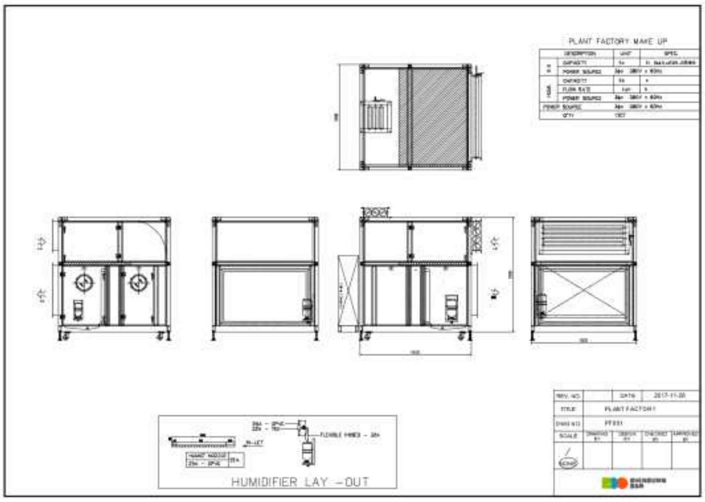
(b) 메인화면



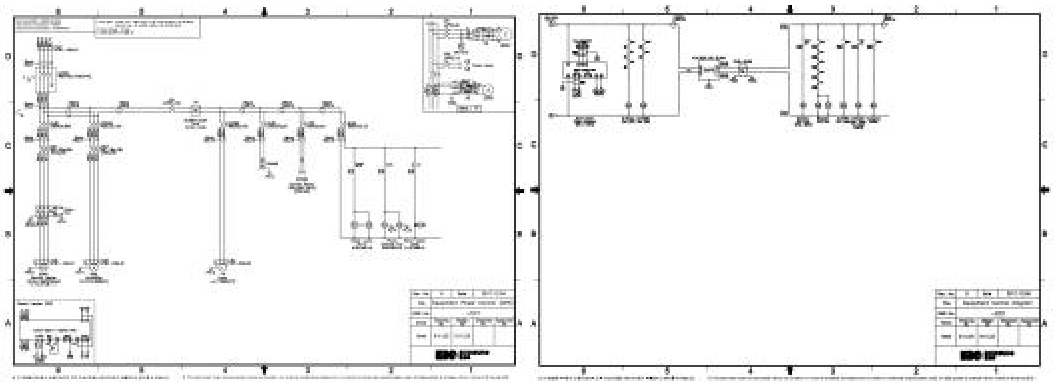
(c) 컨트롤러 입·출력도

그림 14. 자체평가용 일체형 항온항습기 제어 시스템 및 모니터링

- <그림 15>에 평가챔버의 설계도면과 전장도면을 나타냄
- 평가챔버는 약 50평 식물공장의 항온항습기에서도 평가 할 수 있게 설계함.
- 평가챔버 사이즈는 W1,800 x L1,900 x H1,950, 전기히터용량은 30kW, 가습용량은 8kg/hr로구성 되어있음
- 전기히터는 SCR을 통해 전력이 공급되며, 원하는 온도 컨트롤을 위해 TIC를 설치함



(a) 설계도면



(b) 전장도면

그림 15. 평가챔버 설계도면 및 전장도면

- 〈그림 16〉에 제작된 자체평가용 일체형 항온항습기와 평가챔버를 나타냄
- 자체평가용 일체형 항온항습기는 BLDC 압축기와 CO2 발생기, 냉해방지를 위한 안전기능,스마트 App을 통한 무선컨트롤 등 차별화 방안이 적용된 항온항습기 임
- 다양한 기초평가를 실시한 후 필수적용 부품을 구분할 예정임. 이 결과를 통해 얻어진 데이터를 활용하여 차년도 저가형 항온항습기 개발시 반영할 예정임

(a) 자체평가용 일체형 항온항습기

(b) 평가챔퍼

그림 16. 제작된 자체평가용 일체형 항온항습기 및 평가챔버

(2) 식물공장 환경 센싱 시스템 개발

가. 무선 온도, 조도, 습도 센서 개발

○ 평균 소모 전력 20uA 이하의 저전력 회로 설계

○ 무선 통신 및 센서 인터페이스 펌웨어 개발

○ 안테나 내장형 무선통신 PCB 설계

○ 반경 20m 이상 도달 가능한 패턴 안테나 설계 및 RLC 매칭 회로 설계

○ 다습 환경 적응을 위한 실리콘 케이스 설계 및 시성형

○ Bluetooth 4.0(Beacon Protocol)
○ 코인셀(CR2032, 3V)로 1년 이상 동작
○ 반경 20m 내 무선 통신 가능
○ 10분에 1회 센서 데이터 전송
- [온도(수온)센서]

- Accuracy : ±1℃
- Operating Range : -25℃ to +100℃

- [조도 센서]

- Detectable illuminance Range : 0 to 65000 lux
- Operating Range : -25℃ to +80℃

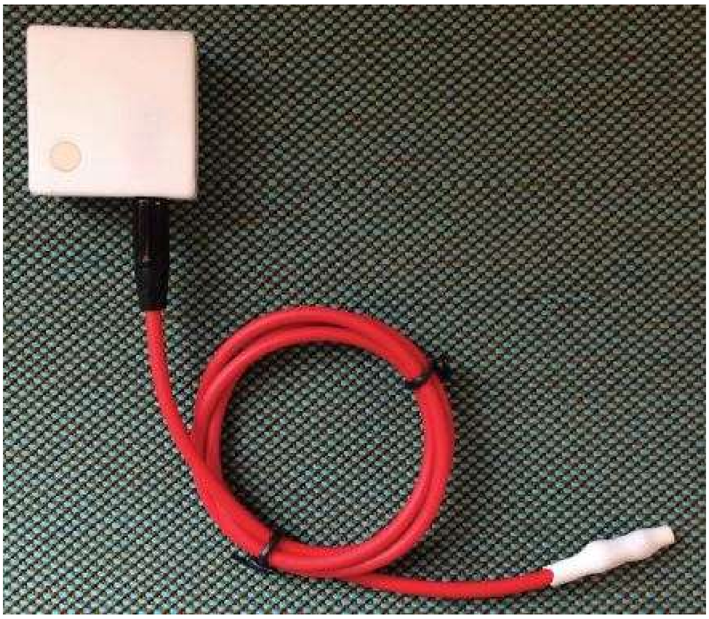
- [습도 센서]

- Accuracy : ±5 RH
- Operating Range : -10℃ to +85℃

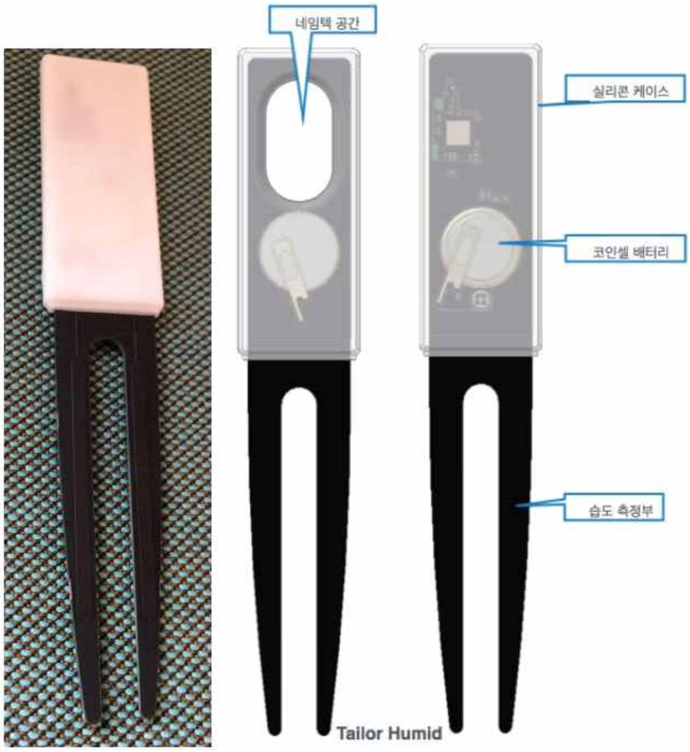
- [토양 수분 센서]

- 상대수분 측정 알고리즘 적용
- 노지, 일반 화분, 잔디 및 코코피트 등 광범위 응용 가능

그림 136 무선온도(좌), 조도(중앙), 습도(우) 센서



[무선수온센서]



[상대습도 적용 무선 지습센서]

나. 무선 게이트웨이 개발

○ WPA/WEP 패스워드 형 공유기 대응 가능한 Wi-Fi 펌웨어 개발
○ 블루투스와 Wi-Fi간 통신 회로 및 인터페이스 설계
○ Web Sever에 AES 암호화 적용 패킷 전송
○ 안테나 감도에 따른 반응형 인디케이터 적용
○ 모바일 및 PC에서 설정 가능한 웹서버형 설정 페이지 개발

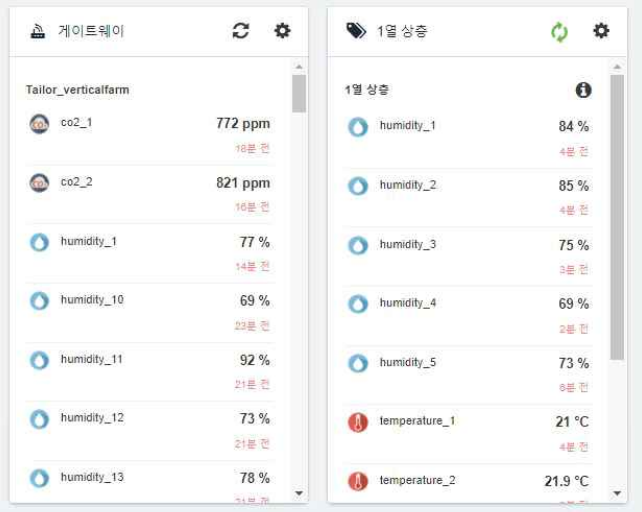
- [네트워크]
  - Wi-Fi (802.11b/g/n) 2.4Ghz
  - Bluetooth 4.0
  - Supported Encryption : OPEN/WEP/WPA/WPA2
- [전원]
- Input source : 5VDC
- Connector type : USB mini B
- [통신범위]
  - Up to 20m(Open space)
- [주요기능]
  - 센서 데이터 수집 및 서버 전달
  - 100개 이상의 센서 커버 가능

[무선게이트웨이]

[무선 게이트웨이 설정 화면]

다. 센서 등록 환경 개발 및 원격 SaaS(Software-as-a-Service) 환경 적용

- ○ 복수 센서 등록시 자동 등록을 위한 환경 개발(python)
- ○ 사물인터넷 인터페이스(MQTT)를 위한 게이트웨이 라이브러리 개발
- ○ AWS 기반 thingplus 사물인터넷 플랫폼 적용
- ○ 센서값, 업데이트 시간 업로드를 위한 인터페이스 패킷 구성
- ○ 게이트웨이의 안정적 동작을 알리는 주기적 패킷 구성



[실시간 센서 데이터 모니터링 화면]

[센서 데이터 수집 모니터링 화면과 온도 습도 변화량]

3. 식물공장 생산시스템 모델 구축을 위한 준비 사항
  ○ 실질적인 모델화 구축을 위한 행정 절차
  ○ 본 연구를 통하여 실질적인 모델화 구축을 위하여 주관기관의 공장 부지에 공간확보
  ○ 용인 관내 식물공장 구축 허가를 위한 행정절차 진행
  ○ 식물공장에 적합한 건물 설계사 선정과 공사 업체 컨텍

4. 재배작물(피델)의 생장과 기능성 성분에 대한 연구
(1) 식물공장 내 광원조절에 따른 상추(‘Fidel’)의 생산성과 항산화능의 변화 연구
 가. 상추(‘Fidel’)의 재배 연구 배경

○ 최근 채소를 소비자에게 지속적으로 공급하기 위해 온실재배가 꾸준히 증가하고 있다. 생산되는 엽채소류 중에서 배추는 37%로 가장 높았으며, 상추는 25%로 뒤 따랐다(MAFRA, 2018). 상추는 신선한 샐러드와 쌈채소로 소비되며 연중 생산된다. 다양한 상추 품종 중에서 로메인 상추는 주로 샐러드와 샌드위치에 사용되며 버터 헤드 양상추는 잎이 느슨한 것으로 알려져 있으며 달콤한 맛과 부드러운 질감을 가지고 있다. 양상추는 95% 수분으로 구성되었으며 섭취 시 신체 내부의 수분 부족을 채울 수 있다. 또한, 비타민 A, B, C, E를 함유 및 많은 양의 철분을 포함하고 있어 건강 증진에 효과적이다(Jang et al., 2007).

○ 상추는 환경조건, 양액의 농도 및 인공 광원의 품질 및 강도에 따라 성장에 큰 차이가 있는 것으로 보고되었다. 수경 재배에 적합한 물 흡수율에 기초한 양액의 개발이 식물공장내 상추 재배에서 시작되었다 (Choi et al., 2005; Nam et al., 1997). 양액에 N, P, K, Ca, Mg 및 SO4가 지속적으로 공급되지만 식물 공장에서 미네랄 간의 길항 작용은 자주 발생할 수 있다. 예를 들어, 칼슘 흡수는 NH4, K, Mg에 의한 길항 작용에 의해 억제되는 것으로 알려져 있다(Bangerth, 1979; Choi et al., 1999; Kozai et al., 1992). 양액내 EC의 농도는 일반적으로 2.0-2.2 dS・m-1에 적합하며 적절한 EC는 저장 품질과 엽록소 값에도 영향을 미친다(Cha et al., 2012; Lee and Chang, 2017). 또한 상추 재배의 pH는 5.0-7.0의 범위에 있는 것이 적당하고(Park et al., 1999) 비료 성분에 따라 pH 농도의 변화에 영향을 미친다(Shin et al., 2013). 양액에 미량 원소를 보충하는 것은 식물의 생리학적 장애 및 해충에 대한 내성을 증진시키는 것을 목표로 한다. 또한 특정 미네랄은 건강 증진 및 질병 예방에 중요한 요소로 작용합니다. 따라서 상추에 적합한 양액을 공급함으로써 보다 고품질의 농산물을 생산할 필요가 있다(Suh et al., 2006). 더욱이, 식물 공장에서 발광 다이오드 (LED)의 파장의 차이는 광합성, 성장 및 항산화 활성을 조절한다(Cha et al., 2013; Hiroshi et al., 2011; Li et al., 2019).

○ 본 연구는 환경 친화적이고 연중 안정적인 생산 능력을 갖춘 식물공장내에서 상추 ‘Fidel’의 생산성과 항산화 활성을 증가시키는 미네랄 첨가제의 함량과 적절한 LED 파장을 찾아내기 위해 수행되었다.

나. 재배 연구 결과

○ 양액에 첨가된 AMG 농도에 따른 상추의 생장 특성

○ 0.1 및 0.2% AMG의 생장 특성은 0 및 0.05% AMG보다 초폭, 초장, 엽폭, 엽장, 엽수 및 신초 생체중에서 우수한 생장 특성을 나타내었다. 그러나, 정식 후 5 주째에 엽두께 및 엽록소 값은 다른 AMG와 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 또한, 0.1과 0.2% AMG는 모든 생장 특성에서 유의한 차이가 없었다 (표 2). 0.1 및 0.2% AMG의 신초 생체중은 각각 115.0g 및 114.8g으로 가장 무거웠지만, 통계적으로는 유의미한 차이는 없었다. 0.1 및 0.2% AMG의 엽수는 각각 46.3과 47.3으로 가장 많았다. 다른 생장 인자가 중요할 수 있지만 상추는 로제트타입의 잎을 가지므로 생산성은 신초 생체중으로 추정할 수 있다.

○ 그림 2에서 볼 수 있듯이, 신초 생체중을 기반으로 한 상추 생장 패턴은 정식 후 1-2주 사이에는 천천히 증가하였지만 3-5주의 생장 속도는 크게 증가하였다(그림 2). 모든 신초 생체중은 정식 후 5주째에 80-120g에 도달했다. 작물은 일반적으로 식물 공장에서 개체 당 약 100g에 출하되기 때문에, 정식 후 5주째가 가장 적합한 수확 시기

로 판단되었다. 따라서 3주에서 5주 사이의 상추의 영양소 관리가 매우 중요한 것으로 추천하였다.

○ Jang et al. (2012)는 킬레이트 칼슘이 엽면 시비 될 때 대조군에 비해 상추의 성장과 생산성이 18.12% 증가되었다고 보고하였다. 칼슘의 함량 투입의 변화와 관련된 칼슘의 사용은 거의 보고되지 않았다. Moon (1999)은 굴 껍질에서 추출한 천연 액상 칼슘을 수확기에 상추에 뿌려 수확량이 10.8% 증가했다고 하였다. 상추는 칼슘에 대한 요구량이 높은 작물이지만 칼슘은 뿌리에 흡수하기 어렵기 때문에 일반적으로 엽면 시비법으로 처리하였다. An et alk. (2011)은 엽면 시비에 의한 생산량의 증가는 고온에서의 칼슘 흡수 억제 상황에서도 잎에 칼슘을 시비하여 상추의 품질을 향상 시킨다고 보고하였다. 그러나 수경 재배에서는 양액에 첨가된 칼슘 화합물의 적용을 통해 식물 공장에서 생산된 상추의 생장특성은 거의 연구되지 않았다. 대부분의 식물 공장 시스템은 수경 재배 방법을 채택하기 때문에 뿌리를 통해 쉽게 흡수되지 않는 칼슘 이온의 효과를 연구하고 상추에 효과적으로 흡수하여 성장을 촉진시키는 것이 필요하다. 본 연구 결과에 기초하여, 양액에 첨가 된 0.1% 및 0.2% AMG는 AMG를 처리하지 않은 양액에 비해 신초 생체중을 1.39-1.4 배 증가시켰다. 그러나 신초 생체중에서 0.1-0.2% AMG 사이에는 큰 차이가 없었기 때문에 0.1% AMG는 'Fidel'에 가장 적합한 AMG 농도로 판단되었다.

다. 양액에 첨가된 AMG 농도와 LED 조합에 따른 상추의 생장 특성

○ AMG 및 LED 조합을 통해, 정식 후 5주째에 신초 생체중을 제외한 상추의 생장 특성을 측정 하였다(표 3). AMG 농도와 AMG 및 LED 조합을 비교했을 때, 유의미한 차이가 있었다. 위의 첫 번째 실험 결과와 같이 생장 특성에서 유의성이 나타내었지만 AMG 농도에 관계없이 4 개의 LED는 초장, 엽두께, 엽수 및 엽록소 값 항목에서 큰 차이가 거의 없었습니다. LED에 따른 결과는 B0:R5:W5 및 B0:R1:W12가 초장 및 엽두께를 제외한 모든 생장 특성에서 다른 LED 처리구들보다 현저히 높은 값을 나타냈다. AMG 농도가 증가함에 따라 초폭, 엽장, 엽폭, 엽두께 및 엽수의 평균값이 증가하는 경향을 보여주었다. 표 3은 AMG 및 LED 조합 중 0.1% 및 0.2% AMG가 LED에 관계없이 다른 AMG 처리구들보다 가장 우수한 생장 특성을 나타냈다.

○ 0.1 및 0.2 % AMG 처리구는 정식 후 5주차에 신초생체중은 LED에 관계없이 다른 조합보다 무거웠다(그림 3). LED 비교에서, B0:R5:W5는 최상의 신초생체중을 나타내고, B0:R1:W9, B2:R3:W5 및 B0:R1:W12와 비교하여 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되었다. 따라서, 적색 LED는 백색 LED 또는 청색 LED보다는 상추의 생산성을 결정하는 초폭, 엽폭, 엽장 및 엽수와 같은 상추 성장 인자에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. Cha et al. (2013)은 양상추 재배를 위한 LED 파장의 조합이 적색 50%, 청색 30% 및 백색 20%가 가장 적합하다고 제안하였다. Ha et al. (2012)는 단일 LED 중 적색 LED로 상추 성장률이 가장 높았으며 혼합 LED를 사용할 때 R4:B1이 가장 좋은 조건인 것으로 보고하였다.

○ Park et al. (2013)은 백색 LED만 사용했을 때, 200 μmol・m-2・s-1 및 24 h에서 각각 광도 및 광주기가 상추 성장이 가장 우수하였다라고 보고했다. Kim et al. (2017)은 상추의 신초생체중이 적색 LED의 비율이 높은 R6:G3:B1 하에서의 처리구들이 다른 처리구의 신초생체중보다 높았다고 제안했다. Son and Oh (2015)는 적색 LED가 생체중

과 건물중에서 새싹과 뿌리의 생육을 향상시키는 것으로 밝혔다. 또한, R8:G1:B1 하의 적상추의 신초생체중은 R8:B2 보다 약 61 % 더 높았으며, 따라서 녹색 LED는 상추 성장에 어느 정도 긍정적 인 효과를 나타내었다고 제안하였다. Kim et al. (2017)은 유채 (Brassica napus L.)의 성장 특성이 혼합 LED 조명 (청색:적색 = 4:6)에서 가장 효과적이였으며, 혼합 LED에서 생체중은 42.78 g-1·plant-1이였으며 적색 30.77 g-1·plant-1, 청색 14.66 g-1·plant-1 및 형광등 4.66 g-1·plant-1순이었다.

- 본 연구의 결과에서 AMG 농도는 AMG와 LED의 조합 결과의 LED보다 더욱 중요했다 (표 3). Noh et al. (2011)은 영양소 흡수율이 광 강도에 비례하고 EC 농도가 동일 할 때 양액에 따라 영양소 흡수율이 다르기 때문에 정확한 첨가 조건이 제시되어야한다고 보고했다.
- 특히, 순환 양액 방식으로 작물을 재배 할 때, 양액의 농도는 일반적으로 EC를 기준으로 제어되기 때문에, 양액 중의 특정 원소의 농도가 높은지 낮은지는 알 수 없다(Cho et al., 1997; Noh et al., 2011). 또한 상추의 성장 특성은 품종마다 상이한 결과를 나타내었다(Cha et al., 2012; Um et al., 2011). 상추의 성장 속도가 급격히 증가하면 양액의 인산이 감소하고 칼슘, 마그네슘 및 칼륨 사이에서 길항 작용이 발생할 수 있다고 제안되었다. 따라서, 고농도 조건 하에서 양액의 EC 농도를 2.0 이하로 조정하면 상추의 품질이 향상 될 수 있다(Cha et al., 2012).
- 본 연구에서 B0:R5:W5는 다른 연구에서 보고 된 바와 같이 상추의 성장에 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이는 적색 LED가 성장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 고려된다. 적은 수의 적색 LED에도 불구하고, 가장 높은 광도(136μmol·m-2·s-1, 24W)를 갖는 B0:R1:W12 LED는 백색 LED의 수가 B2:R3:W5와 B0:R1:W9보다 많았기 때문에 두 번째로 가장 좋은 상추 성장을 나타낸 것으로 판단되었다. 그러나, 적색 LED가 백색 LED보다 약 10 배 더 비싸므로, 적색 LED와 백색 LED를 조합 할 때, 적절한 광강도를 확보하기 위해 백색 LED의 수를 증가 시켜서 상추 'Fidel'은 경제적으로 재배하여야 한다. AMG와 LED의 조합에 대하여, 0.1, 0.2 % AMG와 B0:R5:W5의 조합은 AMG와 LED 조합 중에서 상추가 가장 잘 자랐음을 보여 주었다. 따라서 0.1 % AMG 및 B0:R5:W5가 상추 'Fidel'의 성장에 가장 효율적인 것으로 나타났습니다.

라. DPPH 라디칼 소거능 측정

- AMG와 LED의 조합에 따른 상추 'Fidel'의 라디칼 소거능은 다음과 같다. LED에 관계없이 양액에 첨가된 AMG 처리간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 한편, 각 LED 광원의 라디칼 소거능은 통계적으로 유의했다. AMG 및 LED 조합에서 LED를 비교했을 때, 청색광을 함유한 B2:R3:W5에서 가장 높은 라디칼 소거능 (82.81%)이 관찰되었다. B0:R5:W5는 두 번째로 높은 라디칼 소거능 (77.87%)을 나타냈다. 따라서, LED는 DPPH 라디칼 소거 활성에 차이가 있었지만 AMG는 DPPH 라디칼 소거 활성에 영향을 미치지 않았다. AMG와 LED의 조합 중에서 B2:R3:W5와 0.2% AMG의 조합 (88.6%)과 B2:R3:W5와 0.1% AMG의 조합 (88.0%)은 DPPH 라디칼 소거능 측정에서 가장 높은 활성을 나타내었다.
- Park et al. (2017)은 양배추에서 형광등, 백색 LED, 청색 LED, 적색 LED 및 혼합 LED (R2:B1)에 의한 DPPH 라디칼 소거능이 크게 다르지 않다고 보고했다. 한편, Kim et al. (2016)은 폐쇄형 식물 생산 시스템에서 아이스플랜트의 항산화 활성이 RBW

(red:blue:white = 8:1:, 150 μmol·m-2·s-1)에서 가장 높았다고 보고했다. Son and Oh (2015)는 R7:B1 및 형광등에 비해 R7:B3의 항산화 능력이 각각 61-67%로 상당히 높았다고 보고했다. 또한, Son et al. (2012)는 청색 LED가 상추의 항산화 기능을 축적한다고 보고했다. 따라서, 본 연구는 청색광 처리가 DPPH 라디칼 소거능이 가장 높았던 사례의 연구와 유사한 것을 찾아내었다. 결과는 위에서 설명한 다른 연구와 마찬가지로, 상추에서 다른 색상의 LED보다 청색 LED가 항산화 활성을 유도하는데 더욱 효과적이라는 것을 보여주었다.

○ 결론적으로 0.1% AMG와 B2:R3:W5의 조합은 0.1% AMG와 B0:R5:W5의 조합보다 상추 'Fidel'의 DPPH 라디칼 소거 활성에서 더욱 효과적 이었지만. 그러나 상추 'Fidel'의 생산성과 항산화 활성을 고려할 때, 성장 특성에 대한 식물 공장의 최적 조건과 상추 'Fidel'의 DPPH 라디칼 소거능은 0.1% AMG 및 B0:R5:W5 조합으로 판단된다.

Table 1. Comparison of nutrient solutions between Basic and Yamazaki (unit : $me \cdot L^{-1}$)

Nutrinent Solution	NO_3-N	NH_4-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	SO_4-S
Basic[z]	12.4	0.6	1.7	6.2	6.2	1.3	1.3
Yamazaki[y]	8.0	1.0	3.0	6.0	2.0	1.5	1.5

[z]Basic : the nutrient solution supplied by Insungtec Co., Ltd. used in this experiment.
[y]Yamazaki : the nutrient solution optimized for lettuce by yamazaki.

Table 2. Growth characteristics of heading lettuce 'Fidel' influenced by AMG at the harvest stage[z]

AMG (%)	Plant width (㎜)	Plant height (㎜)	Leaf length (㎜)	Leaf width (㎜)	Leaf Thickness (㎜)	SPAD	No. of leaves	Shoot fresh weight (g)
0	335.50 c[y]	38.76 b	168.93 c	129.77 b	0.249 a	29.96 a	41.3 b	82.09 b
0.05	357.25 b	40.98 a	191.50 b	134.55 b	0.246 a	29.83 a	41.3 b	85.60 b
0.1	369.75 ab	41.42 a	202.03 a	144.85 a	0.254 a	30.72 a	46.3 a	115.04 a
0.2	381.00 a	41.58 a	208.93 a	144.36 a	0.254 a	29.99 a	47.3 a	114.78 a
Significant	***	**	***	***	ns	ns	***	***

[z]Harvest stage: the 5th week after transplanting.
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.
[NS,**,***]Non-signification or signification at P = 0.01 or 0.001, respectively.

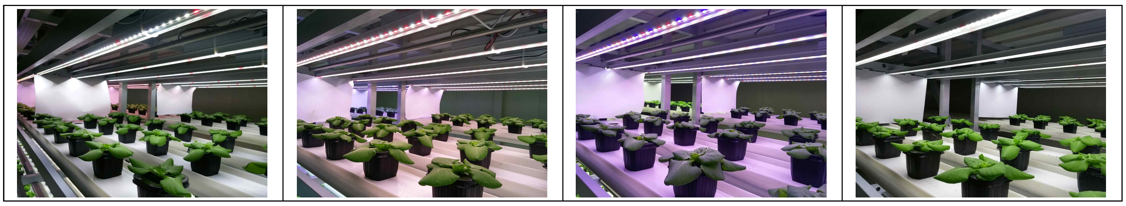


Fig. 1. Heading lettuce 'Fidel' and NFT system in the plant factory used in this experiment.

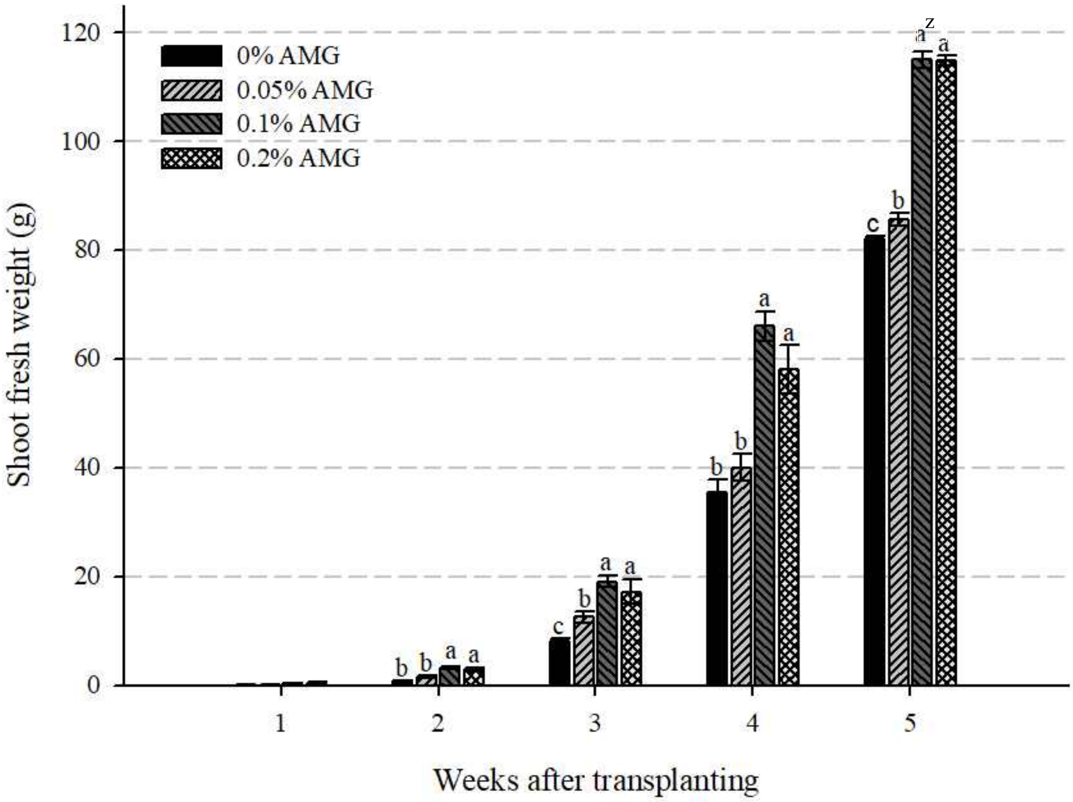


Fig. 2. Weekly changes of the shoot fresh weight of heading lettuce 'Fidel' depending on AMG concentration. [z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

Table 3. Growth characteristics of heading lettuce ‘Fidel' influenced by AMG and LED at the harvest stage[z]

AMG (%)	LED (μmol·m^2·s^{-1})	Plant width (㎜)	Plant height (㎜)	Leaf length (㎜)	Leaf width (㎜)
0	B0:R1:W9 (128)	314.4±12.0	50.5±3.8	166.2±8.7	122.1±5.7
	B0:R5:W5 (119)	340.0±23.5	49.6±5.1	170.9±14.2	119.8±11.3
	B2:R3:W5 (128)	333.3±20.1	44.5±4.8	155.9±4.1	110.4±3.4
	B0:R1:W12 (136)	335.2±17.0	47.5±4.1	170.5±12.7	120.8±11.8
	AVG	330.4 b[y]	48.0 a	165.6 b	118.3 b
0.05	B0:R1:W9 (128)	333.9±16.0	43.1±4.3	171.6±8.6	121.5±8.5
	B0:R5:W5 (119)	351.4±16.0	42.4±3.0	173.9±8.6	126.8±10.2
	B0:B2:R3:W5 (128)	327.0±18.0	42.1±3.8	162.6±14.6	117.2±8.6
	B0:R1:W12 (136)	347.4±16.2	44.6±2.1	173.3±11.5	122.6±9.4
	AVG	339.3 b	43.0 b	170.2 b	121.7 b
0.1	B0:R1:W9 (128)	345.8±8.8	41.9±2.5	175.0±9.1	121.1±7.8
	B0:R5:W5 (119)	359.2±15.3	39.3±0.5	188.3±13.1	136.6±6.1
	B2:R3:W5 (128)	354.3±9.2	43.8±3.5	190.1±15.1	130.1±6.7
	B0:R1:W12 (136)	368.3±8.6	42.2±6.3	192.6±11.0	134.7±8.5
	AVG	357.4 a	41.8 b	187.0 a	131.0 a
0.2	B0:R1:W9 (128)	339.4±18.7	38.3±3.7	182.8±11.6	137.2±10.0
	B0:R5:W5 (119)	364.7±20.1	41.9±3.8	193.4±12.1	133.9±12.9
	B2:R3:W5 (128)	341.1±16.3	40.4±2.0	173.8±14.2	122.9±11.6
	B0:R1:W12 (136)	368.4±9.0	43.6±2.9	193.9±12.8	131.7±5.2
	AVG	353.4 a	41.0 b	185.9 a	131.2 a
Significant					
AMG		***	***	***	***
LED		***	ns	***	**
AMG×LED		***	***	***	***

[z]Harvest stage: the 5th week after transplanting.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

[NS,**,***]Non-signification or signification at P = 0.01 or 0.001, respectively.

Table 3. Growth characteristics of heading lettuce ‘Fidel' influenced by AMG and LED at the harvest stage[z] (Continued)

AMG (%)	LED (μmol·m^2·s^{-1})	Leaf thickness (㎜)	No. of leaves (ea)	SPAD
0	B0:R1:W9 (128)	0.25±0.02	35.6±2.8	30.5±2.2
	B0:R5:W5 (119)	0.25±0.02	38.7±3.1	30.8±1.2
	B2:R3:W5 (128)	0.24±0.02	34.9±1.7	31.9±1.7
	B0:R1:W12 (136)	0.25±0.02	37.1±2.9	31.2±0.9
	AVG.	0.25 b	36.4 d	31.1 a
0.05	B0:R1:W9 (128)	0.24±0.01	39.9±2.2	28.6±1.1
	B0:R5:W5 (119)	0.25±0.01	40.6±3.2	29.3±0.9
	B2:R3:W5 (128)	0.25±0.01	39.0±2.3	29.5±1.8
	B0:R1:W12 (136)	0.25±0.01	39.9±1.9	29.4±1.4
	AVG.	0.25 b	39.8 c	30.6 a
0.1	B0:R1:W9 (128)	0.23±0.02	39.0±2.2	29.2±2.3
	B0:R5:W5 (119)	0.25±0.01	43.2±1.8	31.1±2.1
	B2:R3:W5 (128)	0.26±0.02	42.7±1.8	31.7±2.9
	B0:R1:W12 (136)	0.25±0.01	42.8±1.3	30.3±2.2
	AVG.	0.25 b	42.0 b	29.2 b
0.2	B0:R1:W9 (128)	0.28±0.02	44.1±2.6	30.4±2.6
	B0:R5:W5 (119)	0.26±0.02	44.8±4.2	32.0±1.5
	B2:R3:W5 (128)	0.26±0.01	42.6±5.4	32.4±1.3
	B0:R1:W12 (136)	0.25±0.02	43.1±1.5	31.2±1.9
	AVG.	0.26 a	43.6 a	31.5 a
Significant				
AMG		***	***	***
LED		ns	*	*
AMG×LED		***	***	***

[z]harvest stage: the 5th week after transplanting.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

[NS,*,***]Non-signification or signification at P = 0.05 or 0.001, respectively.

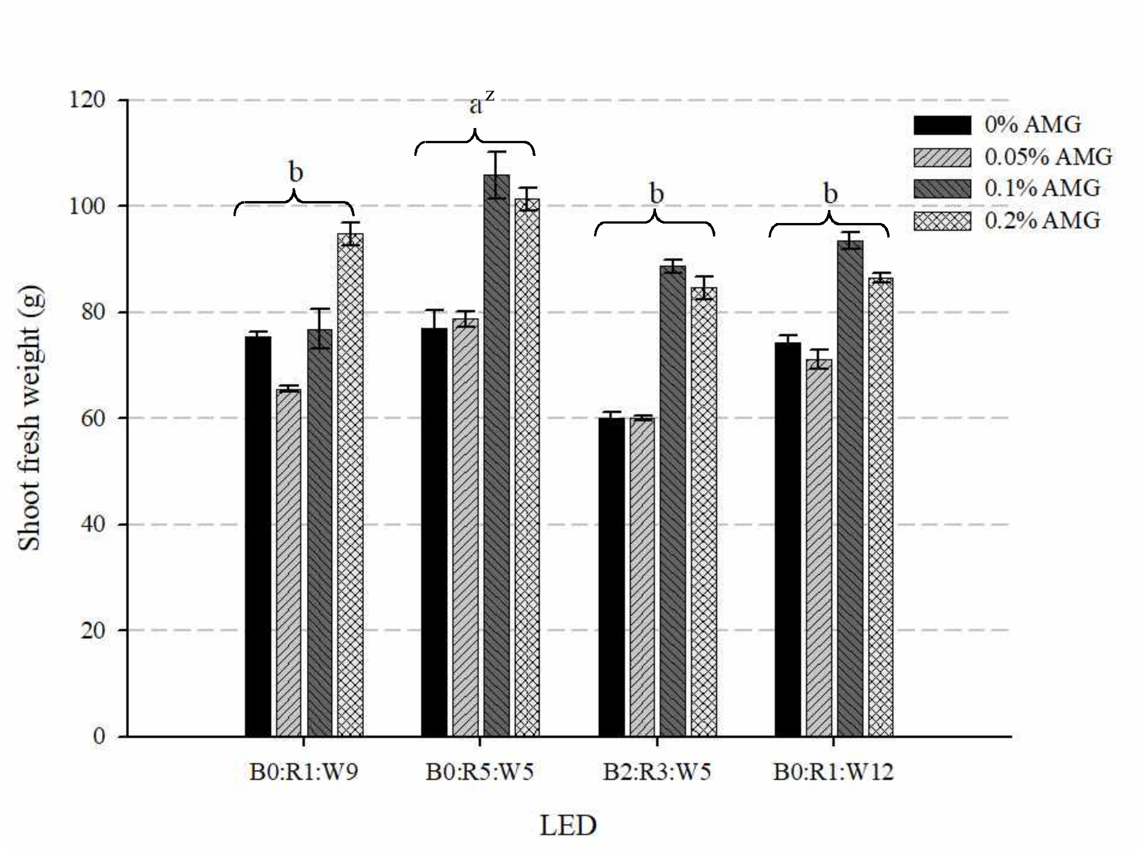


Fig. 3. The shoot fresh weight of heading lettuce 'Fidel' influenced by LED and AMG.
[z]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

Table 4. DPPH radical scavenging activity of heading lettuce 'Fidel' influenced by LED and AMG

LED ($\mu mol \cdot m^2 \cdot s^{-1}$)	AMG (%)	DPPH radical scavenging activity (%)
B0:R1:W9 (128)	0	58.09 ±2.40^z
	0.05	72.88 ±3.29
	0.1	70.35 ±7.18
	0.2	63.11 ±10.48
	AVG.	67.14 c^y
B0:R5:W5 (119)	0	73.58 ±3.96
	0.05	82.65 ±6.23
	0.1	82.53 ±3.95
	0.2	70.35 ±15.26
	AVG.	77.87 ab
B2:R3:W5 (128)	0	79.01 ±10.95
	0.05	74.36 ±9.25
	0.1	87.98 ±0.46
	0.2	88.62 ±0.93
	AVG.	82.81 a
B0:R1:W12 (136)	0	76.95 ±10.12
	0.05	65.22 ±5.02
	0.1	64.83 ±22.60
	0.2	82.26 ±5.15
	AVG.	73.00 bc
Significant		
LED		**
AMG		ns
LED×AMG		**

^{z}Mean ± SD (n=3).

^{y}Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

^{NS,**}Non-signification or signification at P = 0.01.

마. 식물공장의 식물 성장과 환경 상태

- ○ 본 연구는 식물 공장(인성테크, 용인)에서 박막수경필름기술(NFT)을 사용하여 수행되었다. 재배에 사용 된 상추(Lactuca sativa L. cv. Fidel)은 바이엘 크롭 사이언스(서울)에서 구매하였다. 식물 공장 내 환경 조건은 22.5±2.5 ℃ 및 80±5 % 상대습도로 유지되었다(그림 1). 광주기는 밤낮으로 13/11 시간이었다. 파종 후 2 주째, 식물 공장 내 베드에 상추 ‘Fidel’을 NFT에 정식 한 후, 평균 생체중의 무게가 출하시기로 판단되는 정식 후 5 주째에 성장 특성을 조사하기 위해 수확 하였다.
- ○ 실험에 사용 된 기본 양액은 다음과 같다(표 1). AMG는 복합 활성 미네랄 (박사미네랄®, 1.6%, 23개 미네랄, 에코바이오텍, 화성)과 천연 고활성 칼슘 (CaO, 0.03%, 에코바이오텍, 화성)의 복합물을 이용하였다. AMG의 화학적 특성은 열처리를 통해 CaO의 순도 및 이온 활성이 높다. 또한, 이온 활성은 다른 산화칼슘보다 3-5배 더 높다. AMG에 함유 된 높은 칼슘은 산소의 결합력을 약화시키고 전자는 매우 불안정하지만 원자와 잘 반응하며 쉽게 물을 흡수한다 (에코바이오텍, 2019). 상추 생장을 촉진하기에 적합한 AMG 농도를 구명하기 위해 AMG 용액을 각각 0, 0.05, 0.1 및 0.2 %로 양액에 첨가

하였다.

○ AMG 농도에 따른 제 1 실험에서, 4개의 블록 당 21 개의 묘목 (1개의 베이 당 총 84 개의 묘목)이 각각의 AMG 농도마다 정식되었다. 상추의 주간 생장의 변화를 조사하기 위해, 정식 후 5 주까지 주당 다른 처리구의 5개 묘목을 수확하여 신초 생체중(SFW)을 측정하였다. 정식 후 5 주째에 처리구 당 총 40 개의 상추를 조사 하였다. 초폭, 초장, 엽수, 엽폭, 엽장, 엽두께, 엽록소 값 (SPAD) 및 지상부생체중을 기록하였다.

○ 제 2 실험에서, 위에서 사용한 4개의 AMG 농도와 4가지의 LED 처리를 조합하여 총 16개의 조합처리구로 수행하였다. LED (DMLED Co., Ltd., Ansan, Korea)는 3개 색상 LED (B:blue; R:red; W:white)의 조합으로 구성되었으며 4가지의 LED 처리는 다음과 같습니다. B0:R1:W9 (128 μmol・m-2・s-1, 20W), B2:R3:W5 (119 μmol・m-2・s-1, 20W), B0:R5:W5 (128 μmol・m-2・s-1, 20W) 및 B0:R1:W12 (136 μmol・m-2・s-1, 24W). 사용한 양액은 4개의 베이 각각에 순환 방식으로 공급하고, 베이 당 2개의 블록으로 4개의 LED 처리를 설치하였다. 파종 후, 블록 당 21개의 묘목을 2개의 블록으로 심어 LED 처리당 총 42개의 묘목을 식재하였다. 파종 후 5주째에 수확하였으며 기록된 데이터는 위와 동일하다.

바. 라디칼 소거활성 분석(DPPH 분석)

○ 상추 ‘Fidel’로부터 추출 된 샘플(100mg 건조 샘플 + 2mL 60% 메탄올)을 96 웰 플레이트에 희석하고 100μL를 첨가 하였다. 여기에 100μL의 2mM DPPH 용액(에탄올)을 첨가하고 37℃에서 30분 동안 반응시킨 후 517nm에서 흡광도를 측정하고 항산화 활성은 다음식을 사용하여 계산하였다.

○ $\left(1-\frac{Sample\ Absorbance}{Negative\ control\ Absorbance}\right)\times 100$

○ 이때, 샘플을 함유하지 않은 60% 메탄올을 음성 대조군으로 사용하였고, L- 아스코르브산을 양성 대조군으로 사용하여 측정을 하였다.

사. 통계 분석

○ 모든 데이터는 Duncan의 다중 범위 테스트 (DMRT)에 의해 5% 유의 수준과 ANOVA 모델 (Statistical Analysis System, V9.3, Cary, NC, USA)을 비교하였다. SigmaPlot (Ver 10.0, USA)은 그래프 결과에 사용하였다.

(2) 활성칼슘(HAC)의 제조조건 확립

가. 활성칼슘 분말 개발

○ 공시재료 : 패각 분말(여러 종류의 패각종류 중에서 불순물 함유량이 가장 적은 남해안 청정해역에서 생산되는 새꼬막껍질을 원료로 선발)

○ 소성방법 : 전기분해법, 연소법 등을 면밀히 검토하여 가장 적절한 전기분해법을 채택

○ 조사내용 : 활성칼슘의 수율, 칼슘함량 분석, 중금속 등 유해물질 분석, pH 및 Conductivity(CD), ORP, Solubility 조사, 제조공정 기술개발, 제조원가 분석 등

○ 조사 및 분석방법

- pH: 알칼리도를 나타내는 수치로, 동 연구기관 보유의 디지털식 pH측정기로 측정 후

필요에 따라 외부 분석기관에서 측정한 수치를 사용

- Conductivity(CD, 전도도, μs/㎝, ms/cm): 단위 면적당 전기가 통할 수 있는 힘을 말하며, 이 수치가 높을수록 칼슘이온의 양이 많은 것으로 측정되며, 동 연구기관 보유의 전도도 측정기로 측정
- ORP: 액상에서 나타나는 산화환원전위, 산화환원전위(oxidation reduction potential)의 약자이며, 어떤 물질이 전자를 잃고 산화되거나 또는 전자를 받고 환원되려는 경향의 강도를 나타내는 것으로, 이 수치가 높을수록 용액이 탁하다고 판단하며, 또한 ORP의 수치가 낮을수록 또 음의 값을 나타낼수록 물 Cluster가 작다고 할 수 있음
- Solubility(용해도)(mg/Liter): 순수수 제조기에서 제조된 다른 성분이 일절 함유되지 않은 순수한 물 1Liter에, 선발된 시료가 녹는 정도를 표시(동 연구기관에서 액상 활성칼슘을 제조해 나가면서 직접 측정)
- 수율(Yield): 원료 투입량 대비 칼슘의 함량과 불순물을 제외한 활성칼슘(산화칼슘)의 제조량
- 순도(Purity): 제조된 활성칼슘(산화칼슘)의 순도(100% 기준), 보건환경연구원 등 외부 분석기관에서 분석시료의 순도를 측정
- 전압: 전기의 압력으로, 동 연구기관이 본 기술개발을 통하여 고안하여 제작한 고전압 발생기를 이용하여, 고전압을 발생시켜 선발된 시료를 전기분해하는 과정을 거친 후 시험시료인 활성칼슘 분말원료를 제조

나. 패각원료를 고온소성 및 전기분해공정으로 처리한 활성칼슘 시료 개발

1) 칼슘 순도

1)-1. 패각원료를 공정 처리한 CaO의 순도분석

[소성시간과 온도에 따른 패각유래 CaO의 순도 분석 : 시험로]

(단위: %)

	6시간	8시간	10시간	12시간
900℃	67.2	70.5	71.3	72.6
1,100℃	78.5	82.7	84.6	85.9
1,200℃	81.2	85.9	88.7	91.3
1,300℃	89.1	92.2	93.2	93.8
1,350℃	91.6	92.6	96.4	96.0
1,400℃	92.2	92.7	97.8	96.1
1,450℃	95.4	96.1	98.1	98.3
1,500℃	95.9	97.0	99.0	99.2

* 소형전기로의 경우, 1,350℃이상의 온도에서 10시간 이상을 소성하여야만, 본 연구개발에서 요구되는 CaO 순도 95%이상의 소재가 만들어 짐
* 소성온도 상승 및 소성시간에 따라 비례적으로 CaO의 순도가 높아지나, 1,400℃이상으로 소성온도를 상승시키면, 원료를 담는 고가의 세라믹 도가니의 균열 등의 파손이 발생하기에 제조원가가 대단히 상승하기에 본 연구개발에서는 1,400℃를 최고의 소성온도로 설정하였음

(2) 칼슘 종류별 순도, 전도도, pH 등 항목

2)-1. 순도, 전도도, pH 등 전기로에서의 소성 공정에 투입한 활성칼슘 용액(1g/물 1L) 시

료의 항목별 수치

[각 조건의 활성칼슘의 비교항목 조사 : 시험로]

소성온도	CaO의 순도 (%)	전도도 (Conductivity, μs/㎝)	pH (1g/Liter수용액)	수율 (%)
900℃	71.3	527	11.0	55
1,100℃	84.6	838	11.3	61
1,200℃	88.7	1,542	11.7	72
1,300℃	93.2	2,876	12.0	85
1,350℃	96.4	4,418	12.5	92
1,400℃	97.8	4,420	12.5	92
1,450℃	98.1	4,454	12.6	93
1,500℃	99.0	4,215	12.6	93

* 900℃이상에서 10시간씩 소성한 패각원료에 한하여, 70,000Volt의 전압으로 30분간 전기분해 처리함
* 표에서 나타내는 바와 같이 1,350℃이상에서 10시간 이상을 소성하여 제조된 활성칼슘의 원료를 물에 용해했을 때의 경우가 가장 효율적으로 생산할 수 있는 바람직한 조건임

2)-2. 칼슘의 용해도

2)-2-1. 용해도 측정

[선발된 활성칼슘 원료함량에 따른 용해도 : 소형로]

CaO의 순도(%)	용해도(mg/순수수 1Liter)
96.4	1,178
97.8	1,192
98.1	1,203
99.0	1,230

* 소성칼슘의 경우, 순도가 낮을 경우 독성을 발현할 수 있고 신선 농산물 혹은 식품에 칼슘 이외에 회분 등의 잔존물이 발생하는 요인이 되므로, 순도를 최대한으로 높이는 것이 가장 중요한 사항임
* 1,350℃에서 10시간 이상을 소성하여 제조된 활성칼슘의 원료를, 1리터의 물에 1.2g을 용해했을 때 전부 용해되는 사실을 시험적으로 검증하였음

2)-2-2. 용해도 측정(기존제품 대비)

[선발된 칼슘 종류별 원료함량에 따른 용해도]

CaO의 순도(%)	용해도(mg/순수수 1Liter)
92.2(국내산 패각 CaO)	580
92.5(미국산 패각 CaO)	860
96.5(일본 Surfcera사의 패각(가리비) CaO)	920
97.8(당 연구기관의 활성칼슘, 1,400℃/10시간 소성)	1,197
99.0(당 연구기관의 활성칼슘, 1,500℃/10시간 소성)	1,230

* 1,500℃에서 10시간 이상을 소성하여 제조된 활성칼슘이 용해도가 가장 높으며, 1,400℃인 경우도 거의 비슷함

2)-3. 타사의 천연 소성칼슘과의 항목 비교 연구

2)-3-1. CD/ORP 등 비교

[일본산 이온화칼슘 용액 및 활성칼슘 희석액의 pH/CD/ORP 등]

[활성칼슘과의 항목비교]

1. 실험장소: 주관기관의 기업부설연구소

2. 시료 및 시험방법 : 액상 활성칼슘(분말 활성칼슘 0.12%용액)과 일본산 칼슘용액의 pH/CD/ORP 측정

항목 / 시료	pH	CD(전도도)	ORP(m Volt)	비교
일본제품	12.08	2.48 mS/cm	28	Sample 원액(용액상태)
일본제품	12.22	2.87 mS/cm	17	일본산 이온화칼슘 분말을 (1.2g/1L)용해
활성칼슘 용액	12.49	4.40 mS/cm	-36	활성칼슘 Powder(1.2g/1L)
10배액	11.84	0.47 mS/cm	25	원액을 10배로 희석
20배액	11.51	0.22 mS/cm	48	원액을 20배로 희석
100배액	10.86	0.05 mS/cm	83	원액을 100배로 희석
정제수	7.00	5.5 ㎲/cm	1,586	RO정수기에서 제조한 물

* 일본산 수입제품 등은 수치상의 차이 외에도 분말 및 액상의 성상에 관련하여서도 동 연구기관의 활성칼슘과는 많은 차이가 있음

(탁도에서 많은 차이가 나며(일본산: 탁함, 활성칼슘: 맑고 투명) 환원정도(이온화된 Cz 이온의 함량, 액상의 막형성)도 느림)

* 동 연구기관의 활성칼슘 용액의 농도별 분석치는 외부 분석기관 시험성적서 참조

[활성칼슘 순도 및 이물 검사 성적서 : 보건환경연구원, 한국식품과학연구원]

문서확인번호 : V7C5-QYGM-W0SG-2LRA

시험 · 검사성적서

발행번호	R20170908-0029	접수번호	170102119-002
검사완료일	2017-09-08	접수연월일	2017-08-17
제품명	산화칼슘		
(품목)제조번호		품목제조신고번호	200303646398
유형 · 재질 · 품목명	산화칼슘		
제조(수입)일	2017-08-11	유통(품질유지)기한	2020-08-10
의뢰자 성명	구자준	업체명	에코바이오텍(주)
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 팩스번호: 전자우편:		
제조원 업체명	에코바이오텍(주)	제조국	
제조원 소재지	경기도 화성시 삼천병마로 518-26		
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사		

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
함량(%)	95.0~100.5	97.9	적합	
확인시험	적합	적합	적합	
산불용물(%)	1.0이하	0.3	적합	
알칼리 또는 마그네슘(%)	3.6이하	1.5	적합	
비소(ppm)	4이하(아비산으로서)	0	적합	
바륨(%)	0.03이하	0.03이하	적합	
납(ppm)	2.0이하	불검출	적합	
강열감량(%)	10.0이하	6.7	적합	

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다.

Page 1 of2

문서확인번호 : 2HNU-YTP8-GTHI-9XPW

한국식품과학연구원

시험 · 검사성적서

발행번호	R20171101-0079	접수번호	170119065-001
검사완료일	2017-11-01	접수연월일	2017-10-26
제품명	고활성 칼슘(High Activated Calcium)		
(품목)제조번호		품목제조신고번호	2004036419911
유형 · 재질 · 품목명	기타가공품		
제조(수입)일	2017-10-20	유통(품질유지)기한	2020-10-19
의뢰자 성명	구자준	업체명	에코바이오텍주식회사
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 팩스번호: 전자우편:		
제조원 업체명		제조국	
제조원 소재지			
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사		

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
이물	이물 : 적합, 금속성이물 : 식품 중 10.0 mg/kg 미만, 크기 2.0 mm 미만	이물 : 적합, 금속성이물 : 불검출	적합	

종합판정 : 적합

시험검사원 : 신희준 시험검사책임자 : 고수연, 김회재, 최영내

비고 :

※ 위 판정은 의뢰된 시험 · 검사 항목만을 대상으로 한 것입니다.
※ 지면이 부족한 경우 시험 · 검사 항목 및 결과란은 별지로 작성 가능합니다.
※ 검사결과를 광고하거나 용기 · 포장 등에 표시할 때에는 시험 · 검사성적서 전체 내용을 모두 표시하여야 합니다.

「식품 · 의약품분야 시험 · 검사 등에 관한 법률」 제11조제2항 및 같은 법 시행규칙 제12조제4항제1호에 따라 위와 같이 시험 · 검사성적서를 발급합니다.

2017년11월01일

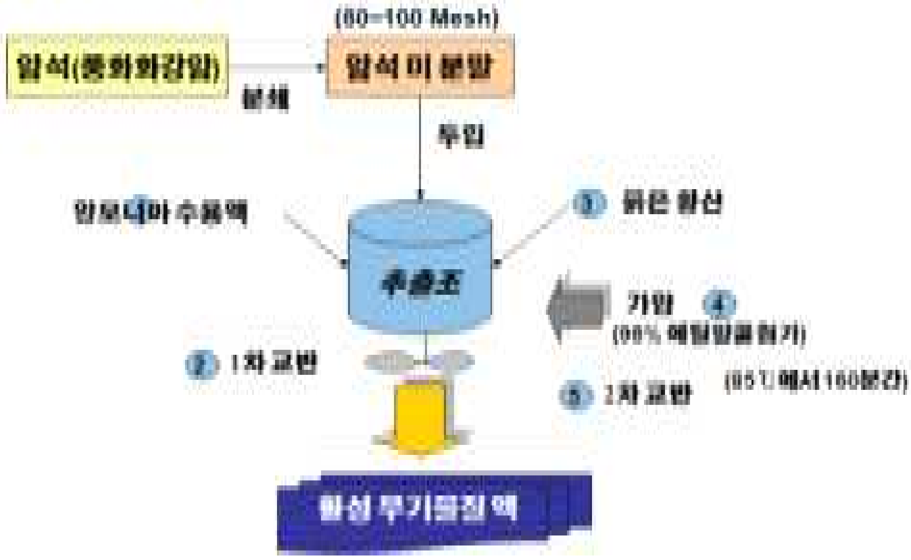
한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원

16001 경기도 의왕시 못들로 50 (포일동,한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원) T:02-3470-8212 F:02-3471-3492

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다. http://lims.mfds.go.kr Page 1 of 1

다. 복합 활성미네랄(AMG)의 제조조건 확립

<AMG의 제조 공정>



원료	반응기에 원료투입	(촉매제 저장탱크) 1. 암모니아 2. 묽은황산 3. 에틸알콜	여과기	침지액 저장탱크	제품 저장탱크

[표 6 : AMG 제조공정 순서도]

풍화화강암 미분말(100Mesh, 100kg)
⬇
추출조 투입(상온상태)
⬇
20% NH_4OH 20kg 첨가
⬇
추출조 덮개 장착
⬇
모터작동(50 rpm)
⬇
15min. 교반(상온)
⬇

덮개 개방
⬇
25% 황산수용액 120kg 첨가
⬇
가열자켓 온도 조절(80℃ 미만)
⬇
에틸알콜(C_2H_5OH, 98%) 6.5kg 첨가
⬇
추출조 덮개폐쇄 후 밀폐
⬇
50 rpm 교반
⬇
가열자켓 온도 85℃로 조절
⬇
3kg/㎠조건, 160min. 교반반응
⬇
복합 활성미네랄(AMS) 용액 생성(약 145Liter)
⬇
저장 및 품질조정

라. 생산 조건에 따른 미네랄 함량

1) 추출조의 압력과 가압시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석

- 위탁제조기관 실험실에서 수행한 AMG 소량 생산의 경우, 추출조 3kg/㎠의 압력에서 160분 이상을 가압하여야만, 본 기술개발에서 요구되는 총 미네랄 함량 1.7%이상의 소재가 만들어 짐
- 착염 형성이 쉽게 이루어지도록 하는 추출조의 최적의 압력 : 3kg/㎠
- 가압 시간이 160분을 초과할 경우에도 AMG의 총 미네랄 함량이 1.7% 이상이 되나 가압시간이 길어질수록 제조시간과 제조원가가 상승하게 되어 본 기술개발에서는 160분을 가압시간으로 설정하였으며 2차년도에 시험생산 적용시에도 이 조건에 맞추어 제조할 예정임

[표 7 : 추출조의 압력과 가압시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석 : 소량생산]

(단위: %)

	100분	130분	160분	190분
2kg/㎠	0.7	0.8	0.8	0.8
2.2kg/㎠	0.8	0.9	0.9	1.0
2.4kg/㎠	0.9	0.9	0.9	1.0
2.6kg/㎠	0.9	1.0	1.2	1.2
2.8kg/㎠	1.0	1.2	1.4	1.4
3.0kg/㎠	1.2	1.5	1.8	1.8

* 본 실험은 각 조건에 도달하였을 때 시료를 채취하여 총 미네랄 농도를 굴절계로 측정하였고, 추출조의 온도는 85℃로 교반속도/교반시간은 각각 50rpm/15분으로 Fix해 둠

* 가압시간 연장과 추출조의 압력 상승에 따라 AMG 제조원가가 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 아주 중요함

* 160분 이상을 압력을 가할 경우 순도의 차이는 크게 보이지 않았으며 이는 경제적인 면이나 품질을 고려할 때, 가압시간과 추출조의 압력을 3.0kg/㎠에서 160분간 압력을 가하는 조건으로 Fix함

2) AMG 교반시간과 교반속도에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석

- AMG 소량 생산의 경우, 암모니아 수용액을 가한 다음 추출조의 덮개를 덮고 모터를 50rpm 이상으로 작동시켜 상온에서 15분 이상 교반하여야, 본 기술개발에서 요구되는 총 미네랄 함량 1.7% 이상의 소재가 만들어 짐

[AMG 교반시간과 교반속도에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석: 소량생산]

(단위: %)

	10분	12분 30초	15분	17분 30초
40rpm	1.0	1.4	1.5	1.5
45rpm	1.2	1.5	1.6	1.5
50rpm	1.3	1.6	1.8	1.8
55rpm	1.3	1.6	1.8	1.8

* 각 조건에 도달하였을 때 시료를 채취하여 총 미네랄 농도를 굴절계로 측정하였고, 추출조의 온도는 85℃로 가압압력/가압시간은 각각 3kg/㎠ 및 160분으로 Fix해 둠

* 교반시간 연장과 교반속도 상승에 따라 기계감가상각 및 인건비 등에 의하여 AMS 제조원가가 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 중요함

* 경제적인 면과 품질을 고려했을 때 50rpm에서 15분간 교반하는 것으로 fix함

마. 압력, 온도, 시간 변화에 따른 미네랄 시료별(AMG 1~AMG 5) pH, Conductivity, DO, ORP(주관기관 자체 측정값)

[각 시료 제조 시의 압력 및 반응온도와 반응시간에 대한 조건]

샘플 / 항목	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5

압력(kg/cm^2)	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0
반응온도(℃)	70	75	80	80	85
반응시간(분)	120	130	140	150	160

- AMG 제조 시 추출공정에서 상기 3조건에 변화를 줘서 시험적으로 양산공정을 개발한 결과 압력과 온도는 대량 생산 설비에 대비하여 반응기의 반응안전성 및 에너지 과소비 등을 고려하여 (Sample-5) 제조조건을 최대한으로 정해 두고 반응시간을 조정하여 제조된 물질을 검토하기로 결정하였음

[각 시료별 분석항목 성적 : 주관기관 측정]

	pH	CD (sm/cm)	DO (mg/L)	ORP (±mv)	굴절계 (총 염도%)
AMG-1	0.93	62.4	>20	531	8
AMG-2	0.72	88.7	>20	538	12
AMG-3	0.61	>100	>20	540	15
AMG-4	0.51	>100	>20	543	18
AMG-5	0.44	>100	>20	540	20

* 각각의 시료를 총 10회 이상 측정한 평균값으로 각 시료의 농도를 계산함
* AMG 원액(즉 1.7% 이상 함량)의 QC 기준은 pH 값 0.51 이하, CD 100 이상, DO 20 이상, ORP 530 이상으로 하고 굴절계 총 염도 측정치 기준을 19 이상으로 결정함.
* <참조사항> 상기 CD값과 DO값에 ">"표기는 주관기관이 보유하고 있는 측정기기(제조회사 QC용)의 최대 측정 Range를 크게 벗어나서 더 이상 측정할 수 없는 값

1) 반응온도와 반응시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석

- 실험실에서 수행한 AMS 소량 생산의 경우, 추출조 3kg/㎠의 압력(Fix)을 유지한 상태로 85℃의 온도에서 160분 이상을 반응시켜야만, 본 기술개발에서 요구되는 총 미네랄 함량 1.6%이상의 소재가 만들어 짐
- 착염 형성이 쉽게 이루어지도록 하는 추출조의 최적의 압력 : 3kg/㎠
- 가압 시간이 160분을 초과할 경우에도 AMG의 총 미네랄 함량이 1.7% 이상이 되나 압력을 유지하는 시간이 길어질수록 제조원가가 상승하게 되어 본 기술개발에서는 160분을 반응시간으로 설정하였으며 2차년도에 시험생산 적용 시에도 이 조건에 맞추어 제조할 예정임

[반응온도와 반응시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석 : 소량생산]

(단위: %)

	120분	140분	160분	180분
70℃	0.7	1.0	1.2	1.3
75℃	1.0	1.4	1.3	1.4
80℃	1.2	1.4	1.5	1.6
85℃	1.3	1.6	1.8	1.8
90℃	1.3	1.6	1.7	1.7

* 각 조건에 도달하였을 때 시료를 채취하여 총 미네랄 농도를 굴절계로 측정하였고, 추출조의 가압압력은 3kg/㎠로 교반속도/교반시간은 각각 50rpm/15분으로 Fix해 둠

* 반응시간과 추출조의 압력을 유지하는 온도 상승에 따라 기계감가상각 및 인건비 등에 의하여 AMS의 제조 원가가 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 중요함

바. 소량 생산에서 제조된 AMG의 각종 미네랄 함량을 국가공인 분석기관에서 평가하여 시제품의 품질균일성 확보

1) 각종 미네랄 함량

- 분석기관 : 피켐코리아(AMG 1~AMG 4), 한국고분자연구소(AMG 5)

[각 시료별 분석항목 성적 : 공인분석기관 측정]

Element	함 량(mg/kg)				
	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4	sample 5
	분석기관 : 피켐코리아				한국고분자 시험연구소
Al	964.48	2,907.12	3,018.94	3,942.50	8,044.4
Ba	0.08	0.05	0.06	0.06	0.1
Ca	60.90	2,286.81	110.55	144.75	165.6
Co	2.59	4.15	5.10	6.30	1.4
Cu	ND	ND	ND	2.43	6.0
Fe	3,413.83	6,519.47	7,288.50	8,905.76	12,696.5
Ge	ND	ND	ND	ND	0.1
K	266.88	486.61	598.25	783.71	1,240.2
Li	1.66	2.98	3.48	4.37	2.7
Mg	1,069.90	3,315.95	3,469.21	4,443.45	7,656.7
Mn	47.15	75.94	93.40	117.84	133.3
Mo	ND	ND	ND	ND	0.1
Na	24.42	55.39	49.81	63.59	53.5
Ni	4.81	8.13	9.69	12.20	6.9
P	ND	ND	ND	ND	59.6
Rb	0.15	0.25	0.33	0.09	1.8
Se	ND	ND	ND	ND	0.1
Si	ND	ND	ND	ND	11.4
Ti	269.83	437.04	547.78	689.08	767.5
V	9.46	14.75	16.35	20.76	16.4
W	ND	ND	ND	ND	0.1
Zn	8.27	87.31	16.98	22.29	18.8
계	6,136.14	16,114.64	15,211.45	19,136.89	30,864.4

- sample 1 : 6,136.14mg/kg(0.613%)
- sample 2 : 16,114.64mg/kg(1.611%)
- sample 3 : 15,211.45mg/kg(1.521%)
- sample 4 : 19,136.89mg/kg(1.913%)

- sample 5 : 30,864.4mg/kg(3.086%)

- 분석 결과, 원료별 함량은 sample 1의 경우 6,136.14mg/kg(0.613%), sample 2의 경우 16,114.64mg/kg(1.611%), sample 3의 경우 15,211.45mg/kg(1.521%), sample 4의 경우 19,136.89mg/kg(1.913%)로 나타났음
- 샘플 5의 경우는 순도가 너무 높아서 피켐코리아에서는 분석기기 센서에 오류가 발생하여 정확한 함량이 측정되지 않아서 함량에 관계없이 분석이 가능한 한국고분자시험연구소에 분석을 의뢰함
- 미네랄 대량제조에는 생산시설 및 공간 확보 등 많은 금액이 소요되기에 기술개발 기간 중에는 OEM생산으로 진행하였으며, 마케팅이 활성화되는 시점에 자체설비를 구축할 예정임

[sample 5의 원소별 함유량 : 분석성적서 요약]

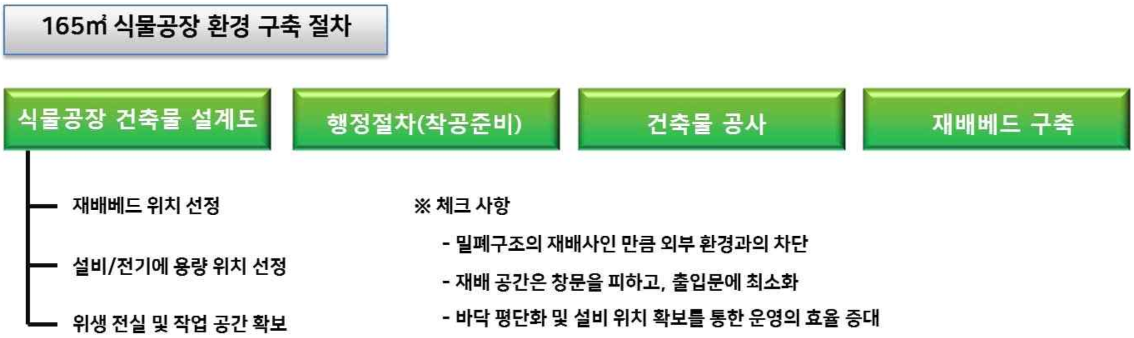
(mg/Liter=ppm)

분석항목(원소기호)	분석결과	분석항목(원소기호)	분석결과
철(Fe)	12,696.5	니켈(Ni)	6.9
알루미늄(A1)	8,044.4	구리(Cu)	6.0
마그네슘(Mg)	7,656.7	붕소(B)	5.4
칼륨(K)	1,240.5	리튬(Li)	2.7
타이타늄(Ti)	767.5	갈륨(Ga)	2.5
칼슘(Ca)	165.5	스칸듐(Sc)	1.7
망간(Mn)	133.3	코발트(Co)	1.4
니오븀(Nb)	92.9	스트론튬(Sr)	1.2
인(P)	59.6	인듐(In)	0.6
나트륨(Na)	53.5	류비늄(Rb)	1.8
아연(Zn)	18.8	안티몬(Sb)	0.3
바나듐(V)	16.4	탄탈(Ta)	0.8
크로뮴(Cr)	15.3	이트륨(Y)	0.6
규소(Si)	11.4	Tl, Sn, Re, Be 등	<0.1로 불검출
◆ 분석방법 : 유도결합플라즈마분광계(ICP: Inductively Coupled Plasma Spectrometer) (분석기기 : Agilent Technologies사 720 ICP-OES, 검출기 : VistaChip II CCD 검출기, 검출한계 : 0.1ppm) ◆ 분석원소 : Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, In, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Ti, Tl, V, W, Y, Zn, Zr			

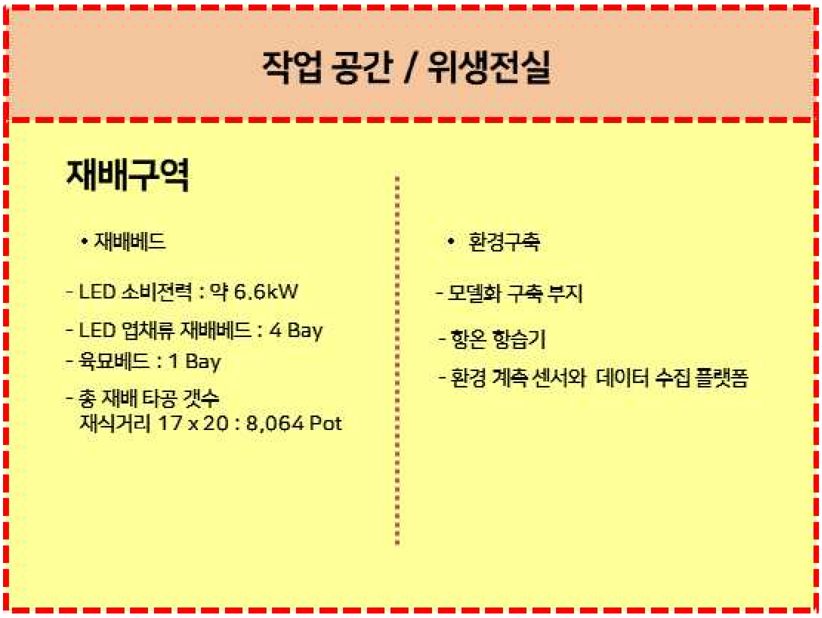
제2절. 2차년도 연구수행 내용

1. 식물공장 생산시스템 실질적 모델 구축

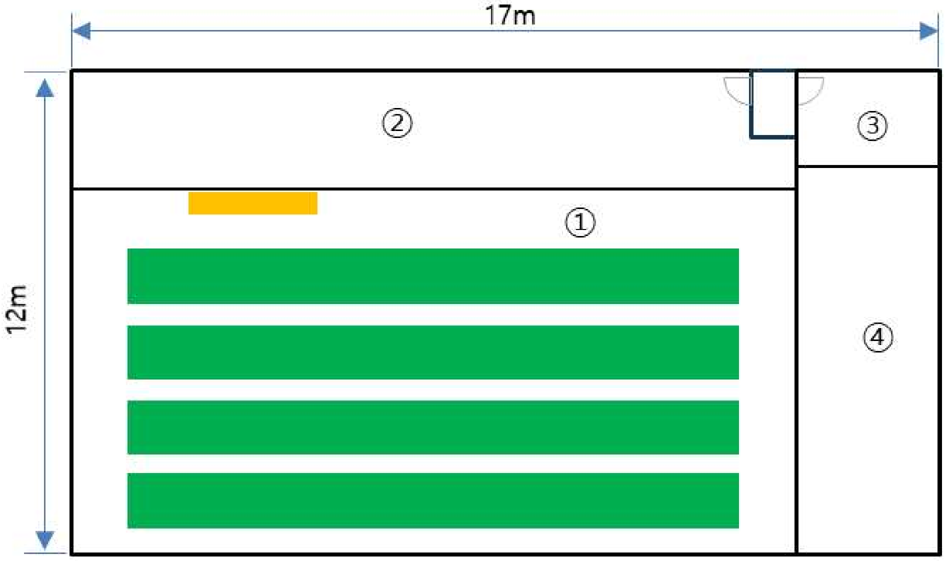
(1) 식물공장 생산시스템의 실질적 모델 구축을 위한 설계



[식물공장 구축을 위한 절차]



[실질적인 모델화 구축 개요(안)]



① 재배구역
- 재배베드 : 4 Bay
- 육묘베드 : 1 Bay
- 항온항습기
- 환경 계측 센서와 수집 플랫폼
② 관리구역 : 식물 파종/수확 후 관리 공간
③ 위생전실 : 작업자의 탈의와 에어샤워기를 통한 출입 공간
④ 관람실

[실질적인 모델화 배치(안)]

○ 식물공장 구축을 위한 사전 검검 리스트

구분	사전 검토 항목	비고
환경 구축 체크 사항	■ 건축물 공사 업체 스케쥴 조정 - 설계사를 통한 건축 공사를 위한 착공계 - 공사 업체 선정과 일정 관리 (기초, 철골, 판넬, 전기, 배관) - 건축물 사용을 위한 사용승인 행정절차 진행 - 사용 승인	
	■ 건축물과 재배베드의 Main 전기 - 베드 수에 맞게 배선용 차단기 체크 - 재배베드 전기용량에 맞는 전선 굵기 및 위치 체크	
	■ 건축물과 재배베드의 Main 급수 - 재배베드 위치 및 급수 예상 연결 부분 체크 - 배합 통에 맞는 배관 규격 체크(밸브 여부)	
	■ 건축물과 재배베드의 Main 배수 - 재배베드 위치 및 배수 예상 연결 부분 체크 - 오버플로우 배관에 대한 연결 부분 체크	
	■ 재배베드 - 재배베드 및 발아베드 설치 위치 체크 - 재배베드 : 4 Bay 설치 - 육묘 재배 베드 : 1 Bay 설치	
	■ 온도조절 장치 - 항온항습기 및 에어컨 설치 위치/공사 스케줄 체크 - 재배베드 수에 맞는 용량 선정 여부 체크	
	■ 외기 인입 장치_양압을 위한 설비 - BFU 설치 위치 체크	
	■ 위생전실 - 에어 샤워 설치 위치 체크 - 탈의실, 손세척대 등 설치 물품과 위치 체크	
	■ 부대 사항 - 관람창 위치 체크 - 건물의 작업 별 구획 여부 체크	

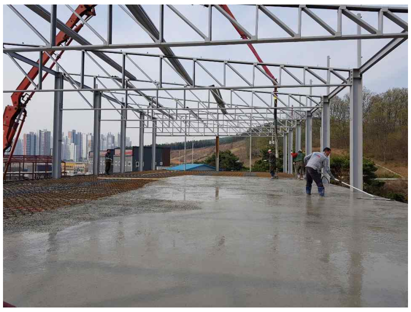
※ 건축허가부터 건축물 사용 승인까지 절차

○ 건축허가 → 착공신고서 제출 → 건축물 공사 → 건축공사 완료 → 사용승인 신청(감리 중간보고서, 감리완료보고서 첨부) → 사용승인 → 건축물사용

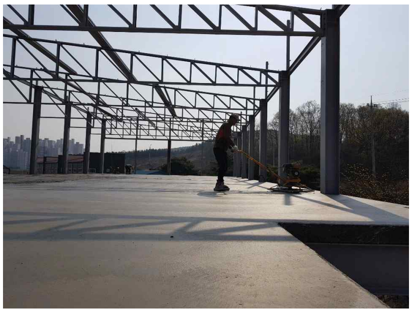
○ 건축물 공사 진행

[바닥 기초 공사]

[배관 및 전기 위치 선정]



[바닥 콘트리트 작업]



[바닥 평탄화 작업]

[판넬 시공]

[바닥 에폭시 작업]

[환경 구축 진행 사진]

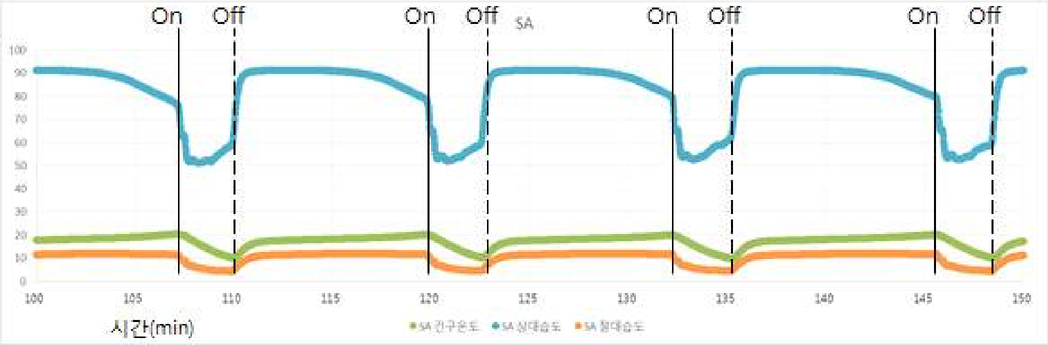
(2) 식물공장 생산시스템 환경 구축

가. 식물공장 공조 시스템

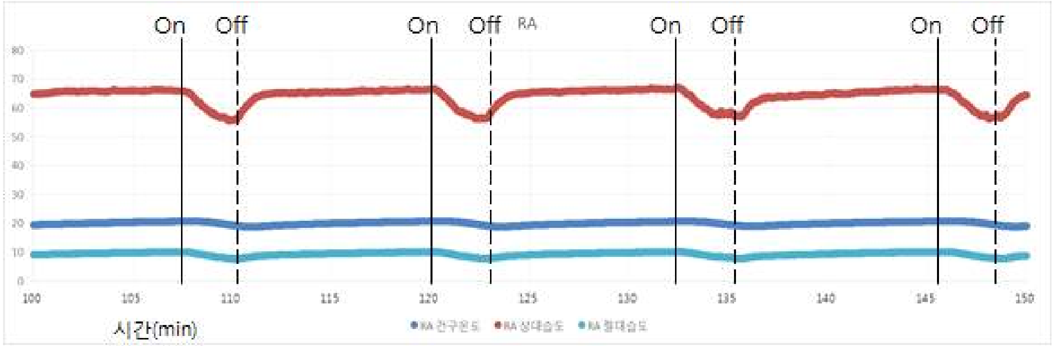
○ 히트펌프 항온항습기 저가 및 소형화 개발 또는 적용

- 가습기 제거를 통한 원가 절감 및 공간 활용

- <그림 1>은1차년도 식물공장의 스탠드 에어컨 습도 평가 결과로 생산량이 많지 않은 조건에서 측정 된 결과 임. 스탠드 에어컨이 정지된 시점부터 절대습도가 상승되는 것을 볼 수 있으며, 이는 식물공장 재배환경 특성상 항온항습기에서 가습기능이 없이도 충분한 수분공급이 가능함을 보여줌.
- <그림 2>와 같이 기존 항온항습기의 주요 부품 중 하나인 가습기를 제거하여 실내기를 설계를 진행하였으며 원가절감과 공간절약이 가능한 식물공장 전용 항온항습기를 개발함

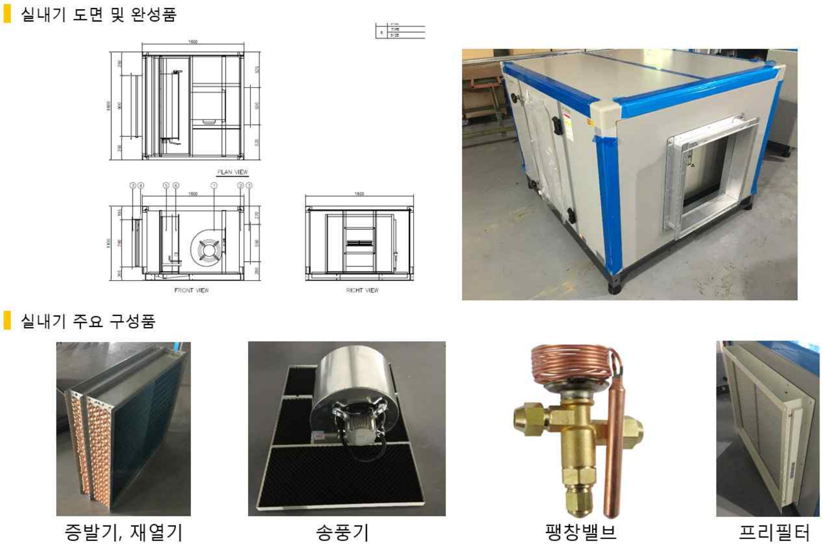


(a) 스탠드 에어컨의 SA 온/습도 평가



(a) 스탠드 에어컨의 RA 온/습도 평가

<그림 1> 1차년도 스탠드 에어컨의 SA, RA 온■습도 측정결과

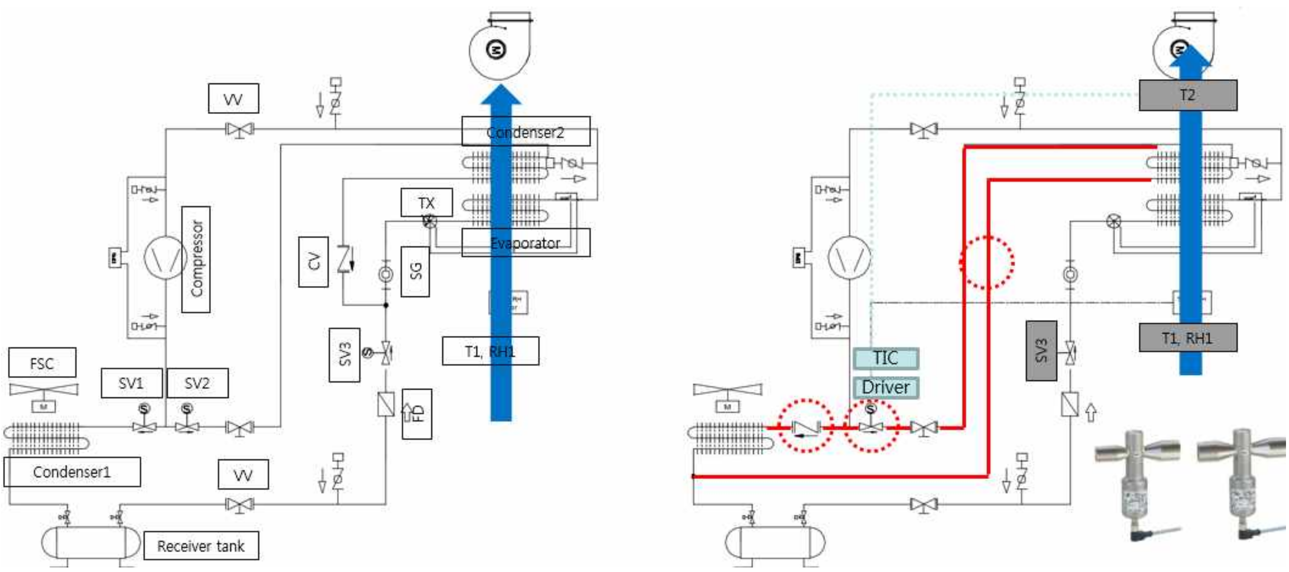


<그림 2> 식물공장 항온항습기 내부 구성품

- 시스템 안정화를 위한 2,3way valve 적용 및 제어기 간소화

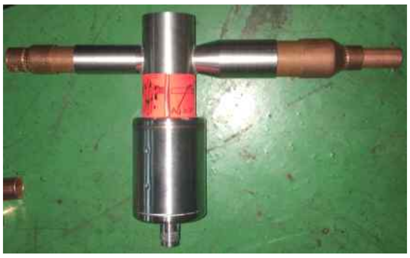
• 1차년도 항온항습기 개발당시 운전비 절감을 위해 항온제습 조건에서 전기히터를 사용한 재열이 아닌 실외기 폐열을 이용한 재열(온도보상) 방식을 적용시킴
• 1차년도 폐열을 이용한 재열을 위해 실외응축코일과 재열코일에 솔레노이드 밸브를 각각 설치하였으며, on/off 방식의 교번운전을 통해, 실내온도 보상 또는 외부로 열방출 시킴
• 냉동사이클에서 교번운전의 문제점은 급격한 응축 환경 변화에 따라 냉동사이클이 불안정 해 지며 냉매유량 변화에 따른 착상(열교환기가 어는 현상), COP 변화, 솔레노이드 밸브 on/off에 따른 소음 등이 발생함
• 위와 같은 문제를 해결하기 위해 <그림 3>과 같이 솔레노이드 밸브의 on/off 제어가 아닌 2,3way valve를 이용한 비례제어 시스템을 적용, 실내에 온도보상이 필요한 만큼 밸브의 개도율을 조정하여 온도보상을 하는 시스템임.

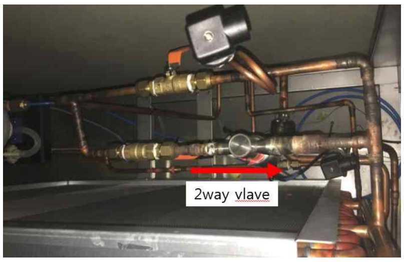
- <그림 4>와 같이 2way valve 적용을 통하여 냉동사이클의 안정화와 착상문제 해결, 소음문제 등을 해결함.
- 2way valve의 작동 원리는 SA측 온도를 센서로 측정, 설정온도 이하의 값이 감지되면 TIC(Temperature Indicator Controller)에서 PID 제어를 통해 드라이버로 4~20mA의 신호를 주고 이를 통해 2way valve의 개도율을 조정하는 방식임.
- <그림 5>와 같이 적용된 3way valve 또한 2way valve와 작동원리는 같음. 2way valve는 평상시 실외기 쪽은 항상 열려 있고, 2way valve는 Close 상태에 있다가 재열이 필요할 경우 재열코일 방향의 냉매 개도율을 조정하여 재열 됨. 2way valve는 3way valve 보다 저가인 장점이 있지만 실외응축코일과 재열코일의 위치가 먼 경우 압축기와 멀리 설치되어 있는 코일에 부족한 냉매를 공급시키게 되는 문제가 있으므로 실외응축코일과 재열코일이 인접하게 설치되어 있는 일체형 항온항습기에 적합함
- 3way valve는 실외응축코일과 재열코일 양방향의 냉매 분기량을 동시 조절하기 때문에 실외응축코일과 재열코일의 거리가 먼 장배관 시스템에서 2way valve 보다 안정적인 폐열 공급이 가능 함
- 2,3way valve를 항온항습기에 적용하기 위해서는 별도의 온도센서, TIC, 드라이버와 같은 별도의 제어시스템이 필요하기 때문에 제어판넬 사용공간증가, 제작공수 및 전선 증가, 관리포인트 증가로 인한 원가 상승의 원인이 됨.
- 기존에 항온항습기 제어에 사용되는 RA센서로 한 개로 2,3way valve 제어가 가능하도록 구성하였기 때문에 제어용 온도센서의 최소화뿐만 아니라 2개의 센서에서 발생할 수 있는 오차를 줄여 안정적인 시스템 제어가 가능함
- TIC(Temperature Indicator Controller) 기능(4~20mA 비례제어)을 기존 제어기에서 수행하도록 함
- 온도센서 개수 감소 , TIC(Temperature Indicator Controller) 미사용을 통한 제어판넬 공간 확보 및 제작 공수 감소, 배선길이 감소, 시스템안정화 등의 장점을 가짐



(a) 솔레노이드 밸브 적용 폐열 회수 시스템　　　(b) 2way valve 적용 폐열 회수 시스템

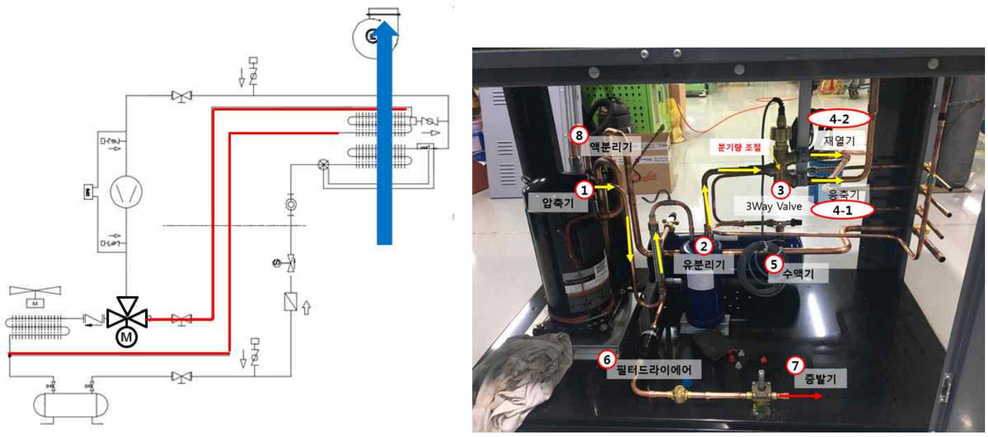
<그림 3> 항온항습기 솔레노이드 밸브, 2way valve 적용 시스템 비교





(a) 2way valve 설치 전 (b) 2way valve 설치 후 (c) TIC를 이용한 밸브제어

<그림 4> 2way valve 항온항습기 적용



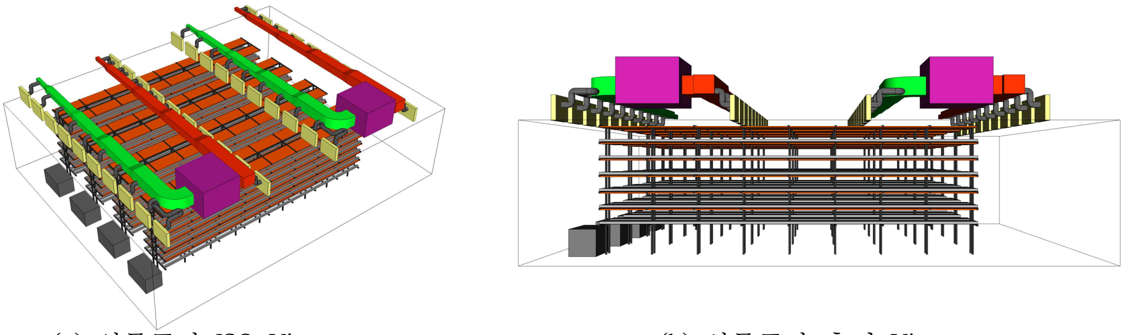
<그림 5> 3way valve가 적용 시스템 및 실외기 구조

○ 기류균일도 향상을 위한 덕트 시공

- CFD를 활용한 기류 시뮬레이션

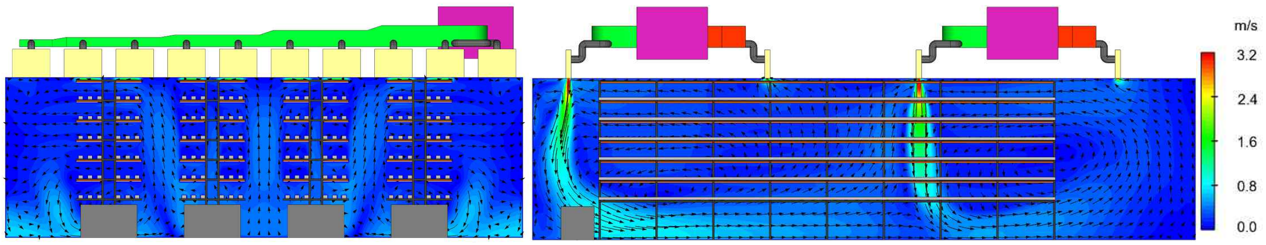
- 1차년도 기류 시뮬레이션에서, 기존 스탠드 에어컨과 같은 공조 방식은 식물공장 내부 기류균일도를 개선하는데 부적합하였으며, 덕트 공조와 여러 대의 항온항습기를 적용하는 것이 적합하다는 결론을 도출 함
- 주관기관에서 신규 건축한 50평 식물공장 재배사의 기류균일도 향상을 위한 기류 시뮬레이션을 진행하였음
- 해석에는 상용 프로그램인 ANSYS Fluent 사용하였으며, <그림 6>과 같이 식물공장 모델링을 진행 함
- Duct에서 분출되는 기류의 유동해석을 위한 지배 방정식으로 질량보존 방정식과 운동량 보존 방정식을 적용하였으며, 난류 모델은 Realizable k-ε model이며, 운동량 보존 방정식의 대류항, 소산항은 1차 풍상차분법을 적용함.
- 속도와 압력의 연성은 SIMPLE algorithm을 적용하였으며, 벽에 의한 영향을 고려하기 위해 Standard Wall Function을 적용함.
- 식물공장의 크기, 가로 11m 세로 14m 높이 3.4m를 반영하였고, 중앙에 Symmetry 조건을 적용하여 공장 내부 절반을 해석했으며, 약 10,004,800개의 정렬격자를 사용하였음.

- 식물공장 유동해석 결과, 임의의 식물공장 내부 풍속은 0.3~0.83m/s정도 유지 되며, 평균 풍속 0.54m/s, 표준 편차 0.15m/s 결과가 도출되었고, 식물성장에 적합한 풍속 0.03m/s~0.1m/s 와는 다소 차이를 보임.
- 항온항습기의 풍량으로 산출한 식물공장 내부 평균 풍속은 0.05m/s로 최적 풍속 범위에 해당하지만, <그림 7>의 (a)와 같이 재배배이가 반영된 임의의 식물공장 내부 평면에서 계산된 평균풍속은 약 0.23m/s로 약 5배 차이를 보는 반면, <그림 8>의 (a)와 같이 재배배이가 미반영된 평균풍속은 약 0.54m/s로 약 11배 차이를 보임
- 이러한 이유는 높은 공급 풍속에 의한 압력 강하로, 주변의 공기가 순환되며, 다양한 유동층이 형성 되는데, 재배베이로 인해 발생된 공기 저항으로 인해 Backflow의 생성을 적게 만들었기 때문이며, <그림 7>과 <그림 8>의 (b) 측면 View에서 재배베이가 미반영된 해석의 Backflow가 큰 풍속으로 형성된 것을 통해 추측할 수 있음
- 실제 엽채류가 생산되는 식물공장에선 엽채류에 의한 공기 저항이 <그림 8>의 조건보다 크게 발생되므로, 재배베이 위치에서는 보다 안정적인 기류가 형성될 것으로 판단 됨
- 또한 재배베이 적용과 미적용 해석 모두 재배베이 바닥으로 높은 풍속이 흐르게 되므로, 바닥에 팬을 설치하여 상승기류를 생성하는 것도 식물공장 기류균일도를 위한 좋은 방법이라고 생각 됨



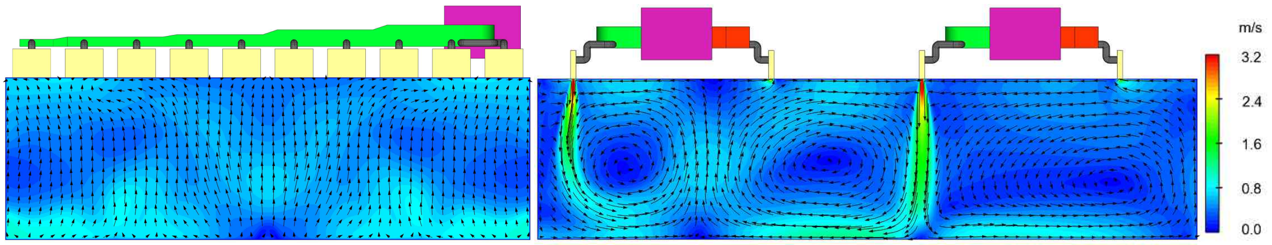
(a) 식물공장 ISO View　　　　(b) 식물공장 측면 View

<그림 6> 식물공장 3D Modeling



(a) 정면 View　　　　(b) 측면 View

<그림 7> 식물공장 내부 재배베이 반영된 풍속 Contour



(a) 정면 View　　　　　　　　(b) 측면 View

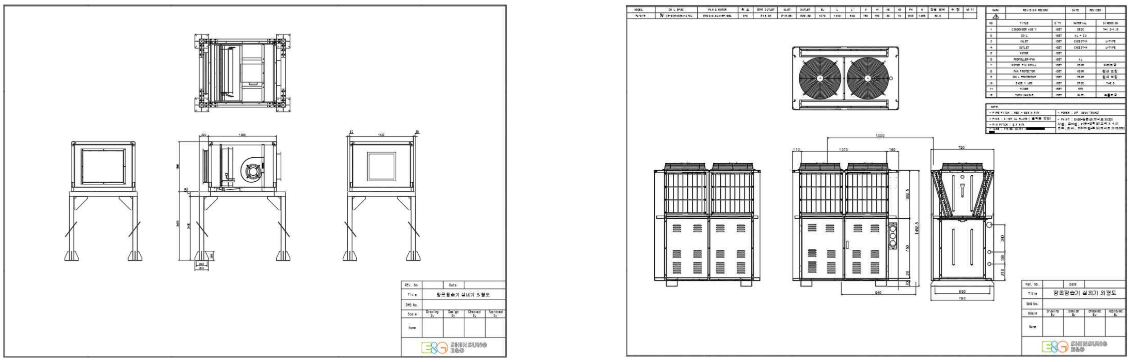
<그림 8> 식물공장 내부 재배베이 미반영된 풍속 Contour

- CFD 기류 시뮬레이션 결과를 통한 덕트 공조 적용
  - CFD 해석결과를 통해 덕트 공조 방식이 적용 된 항온항습기를 개발하였음

○ 1차 실증 평가

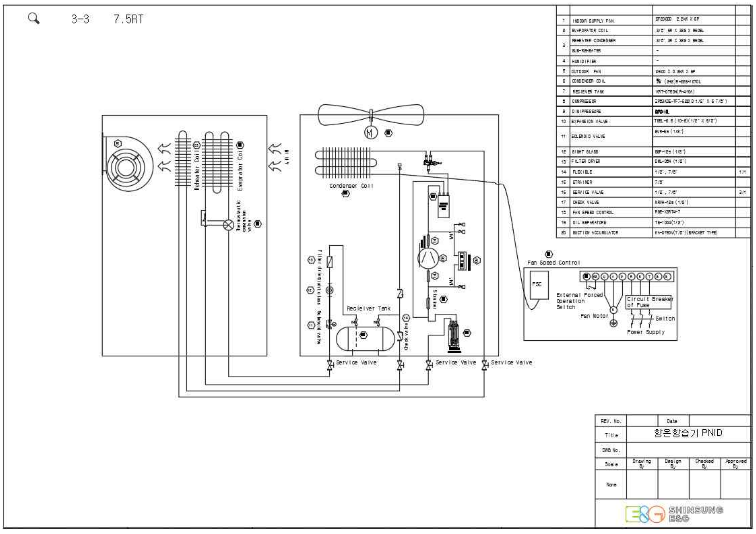
- 식물공장 실증평가용 항온항습기 설치 및 시운전
  - 주관기관에서 구축 중인 식물공장 재배사의 항온항습을 위해 <그림 10>과 같은 분리형 항온항습기를 설계 및 제작 함
  - 항온항습기 P&ID는 <그림 11>과 같으며, 부품 최소화를 통한 저가형 설계를 진행함. 항온항습기는 3way valve를 이용한 재열방식이 적용되었으며, 가습기와 냉해방지용 전기히터, CO2 발생기는 제외 함.

- CFD 기류 시뮬레이션 결과를 통한 덕트 공조 적용
  - CFD 해석결과를 통해 덕트 공조 방식이 적용 된 항온항습기 개발하였음
  - 설계초기에 실외기 일체형 항온항습기를 설계하였으나, 재배공간의 효율적인 관리와 기류 균일도 향상 등에 따라 천정 설치가 가능한 실외기 분리형 항온항습기를 설계하였으며, 7.5RT 항온항습기 두 대 및 덕트 시공을 <그림 11>과 <그림 12>와 같이 제작, 설치 함
  - 항온항습기 이상점검 시운전과 함께 항온제습 모드에서 온도보상 시 3way valve의 비례제어 안정성 여부 및 재열기 동작 여부를 확인하였으며, 안정적으로 시운전을 완료 함



(a)항온항습기 실내기 외형도 설계도면　　(b)항온항습기 실외기 외형도 설계도면

<그림 9> 항온항습기 설계 도면



<그림 10> 항온항습기 P&ID

(a) 항온항습기 실내기 설치

(b)항온항습기 실외기 및 전장판넬 설치

<그림 11> 설치된 7.5RT 항온항습기 실내기 및 실외기

<그림 12> 덕트 시공 사진

- 신축 식물공장의 환경 평가

- 1차년도 식물공장 내부 환경 평가 결과 식물공장 내부는 VOCs의 발생량이 크지 않다는 결과를 도출하였음. 단 1차년도 내부 환경 평가는 장기간 운전되던 식물공장을 평가 한 것이므로, 신축 식물공장의 환경 상태를 확인하기 위해 VOCs 평가를 진행 함
- <그림 13>은 GC-MS, IC 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비로 GC-MS 평가는 VOCs 평가로 고체흡착관(Supelco Tenax TA tube)을 펌프(MP-Σ30KN, SIBATA, Japan)에 연결하여 0.1L/min으로 10분간 포집 한 후 gas chromatograph-mass(GC-MS) 분석을 하

였으며, IC 평가는 이온성 물질 평가로서 평가는 3차 증류수 100mL가 담긴 시료채취관(impimger)에 펌프(MP-Σ300, SIBATA, Japan)를 연결하여 2L/min으로 2시간 포집한 후 Ion Chromatograph(IC)분석을 진행함

MP-Σ30 Adsorption

항목		내용
흡착제		Tenax-TA
샘플러	Maker	SIBATA MP-Σ30
	유량/시간	100ml/min 10ml/min
	총샘플량	1.0L

(a) VOC 샘플링 장비

MS GC ATD

장비	내용
ATD	Turbo Matrix 650
GC	CLARUS 600
MS	CLARUS 600T MSD

(b) VOC 분석 장비

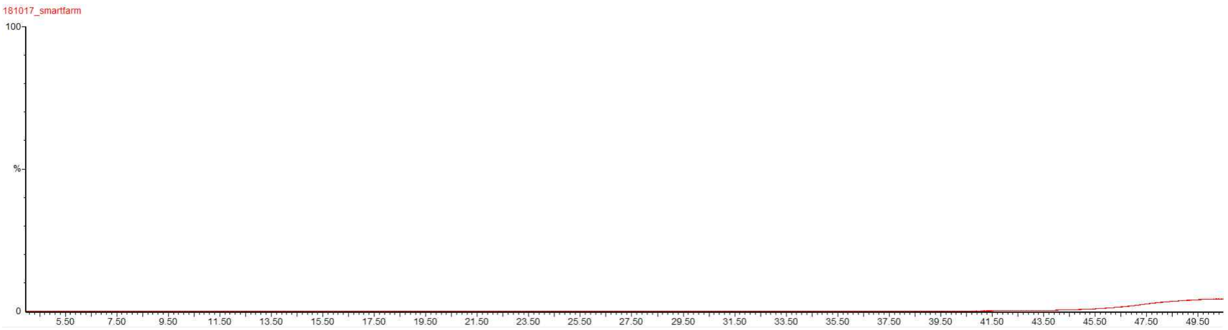
Impinger ICS2000 DX600

장비	내용
음이온	ICS2000
양이온	DX600
시료주입	AS40 Automated Sampler

(c) 이온성 가스 분석 장비

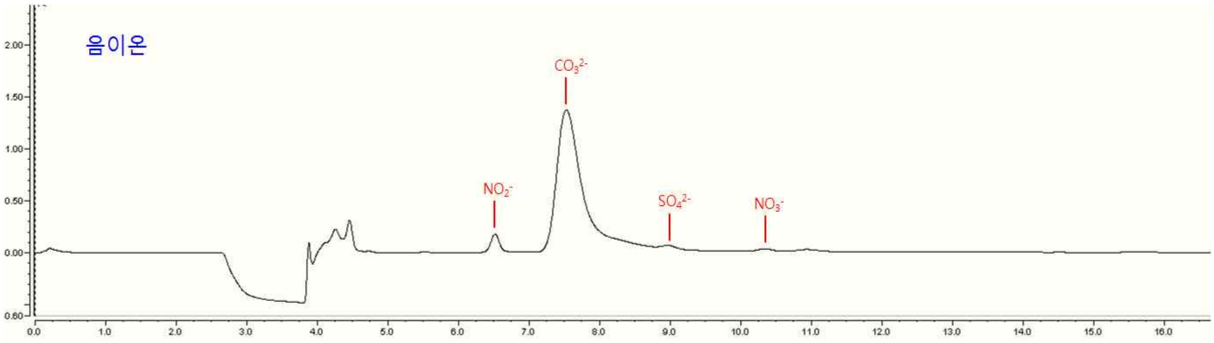
<그림 13> GC-MS, IC 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비

- <그림 14>의 GC-MS 평가 결과 현재 식물공장 설치 전 새로 건축한 건물에서 발생되는 VOCs는 관찰되지 않았으며, 이는 건축내부가 밀폐된 것이 아니고 외기 유입이 가능한 상황임을 고려할 때, VOCs 발생은 있으나 외기에 의한 희석으로 분석한계보다 낮은 농도로 존재하는 것으로 보임.

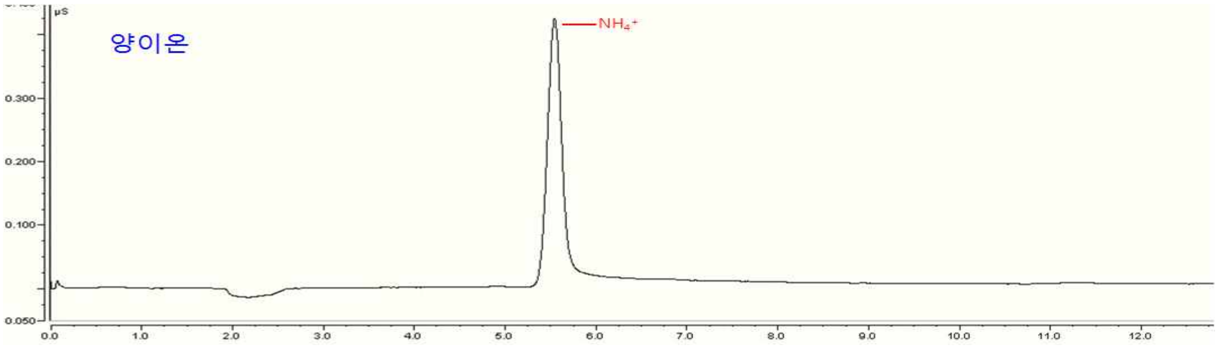


<그림 14> GC-MS 평가 결과

- <그림 15>의 IC 평가 결과 식물공장 내 이온성 가스 중 음이온[NO_2; 0.77 ppb, SO_4^{2-}; 0.09 ppb, NO_3^-; 0.16 ppb], 양이온[NH_4^+; 9.2 ppb]가 검출되었음. 검출된 물질들은 일반 대기 중에 존재하는 농도 수준으로 분석 됨



(a) 음이온



(b) 양이온

<그림 15> IC 평가 결과

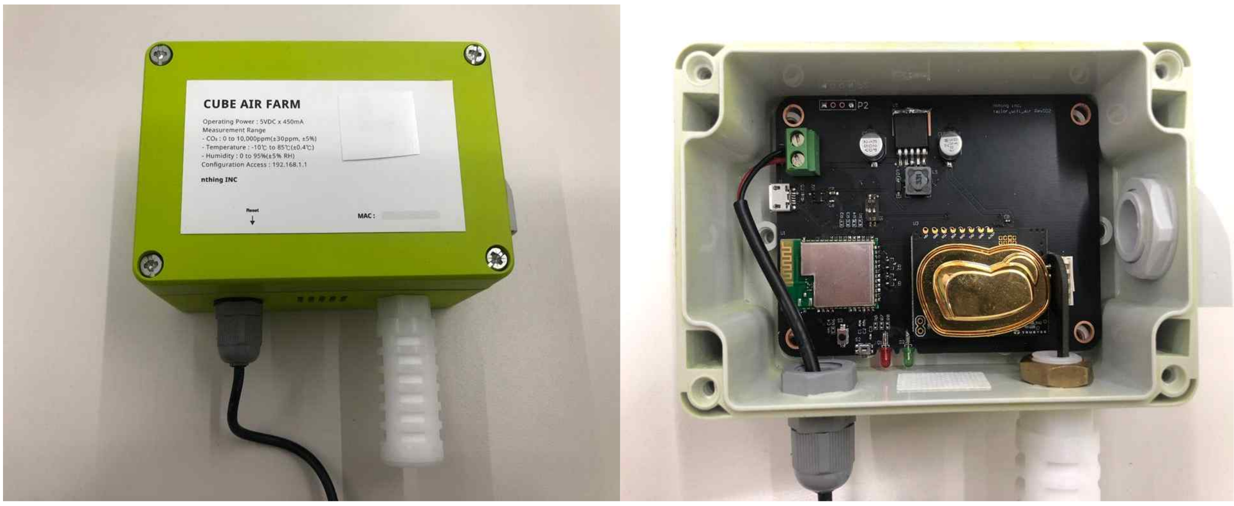
- 신축 식물공장 내부 안정화 시점 평가는 식물공장 건축 준공승인 지연에 따라 향후 결과를 도출할 예정임.

나. 식물공장 환경 센싱 시스템 개발

○ 게이트웨이 통합형 무선 대기 센서(온도, 습도, CO2) 모듈 개발

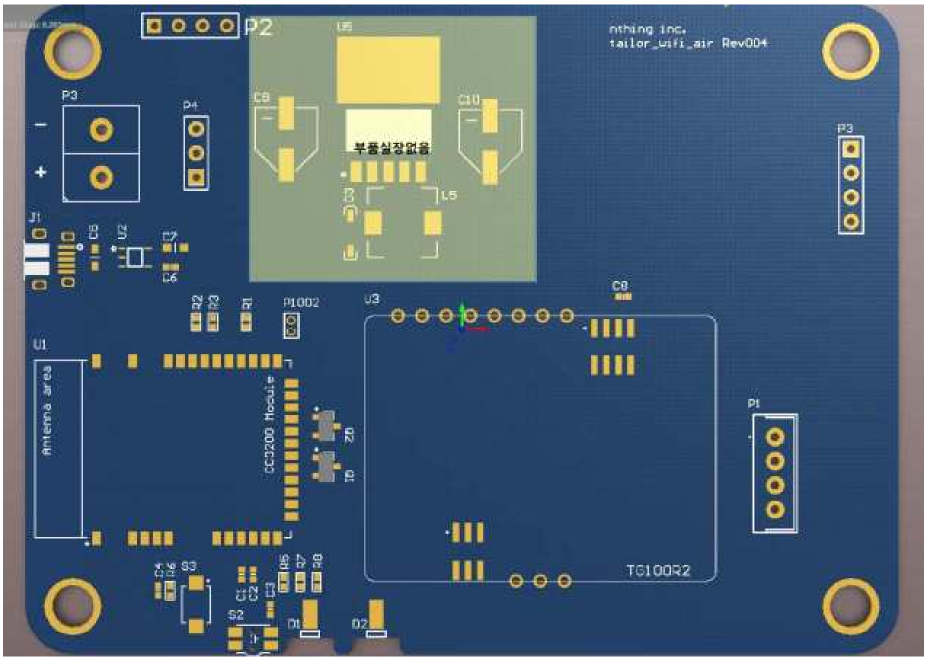
- 게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 개발/제작 내용

- Wi-Fi 기술을 적용하여 OTA(Over the Air) 형태의 센서 모듈 개발
- 메인보드 발열에 영향을 받지 않는 온습도 센서 분리형 PCB 설계
- 5V DC에 450mA이하의 저전력 사양의 회로 설계 기술 적용
- 센서 인터페이스를 통합하여 MCU 전처리 및 서버 전송 펌웨어 개발
- CO2 센서 측정 범위 : 0 to 10,000ppm(±30ppm, ±5%) - TG100 NDIR CO2 센서 적용
- Temperature 센서 측정 범위 : -10° C to 85° C(±0.4° C) - Si7020-A20-GM 센서 적용
- Humidity 센서 측정 범위 : 0 to 95%(±5% RH) - Si7020-A20-GM 센서 적용
- 저전력 설계 메인보드 발열 : 최대 32.4° C
- 암호화 된 Router에 적용 가능한 무선 암호화 세팅 프로그램 및 GUI 개발



[게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 시작품(좌) 및 내부 PCB 구성(우)]

[게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 저전력 설계 발열 테스트]



[게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 PCB 설계 배치도]

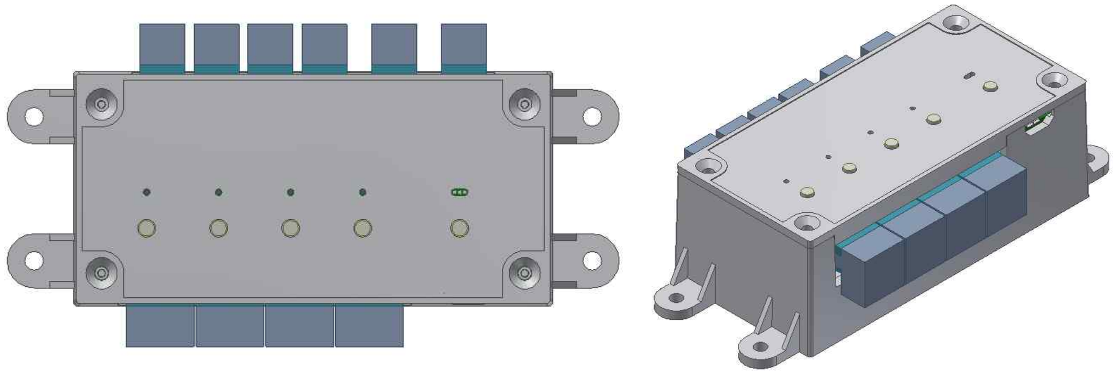
[게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 시작품 정보 라벨 시안]

○ 무선 재배기(PUMP, LED) 및 공조기 다중(1CH/4CH) 컨트롤 및 동작 감지 센서 모듈 디바이스 개발

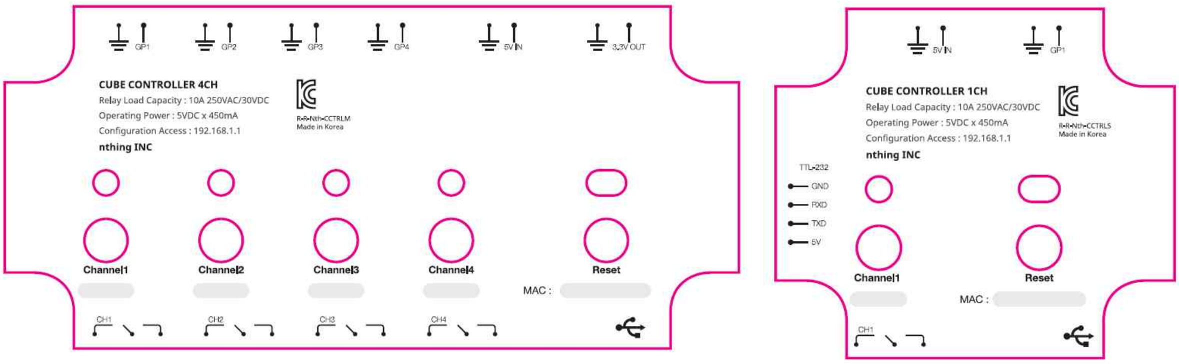
- 무선 재배기(PUMP, LED) 다중(1CH/4CH) 컨트롤 디바이스 및 동작 감지 센서 모듈 개발/제작 내용

• 4CH 단위의 멀티 컨트롤러와 1CH 단위의 싱글 컨트롤러 개발
• 각 채널 별 기능 부여는 자유롭게 설정 가능하도록 프로그래밍
• off-line시에도 자율 컨트롤이 가능한 Rom writing 프로그래밍 탑재
• 전원 차단 시에도 서버 시간이 지워지지 않도록 self time keeping 회로 및 알고리즘 적용
• 예약된 시간에 따라 LED가 동작 할 수 있는 인터페이스 및 컨트롤 프로그래밍
• 예약된 주기에 따라 PUMP가 동작 할 수 있는 인터페이스 및 컨트롤 프로그래밍

- 릴레이 사양 : 10A(10A이상 용량 사용시 2차 릴레이 대응 구성)
- 범용적으로 사용하는 5VDC, Micro B 전원 회로 구성
- 분전함 부착형 4CH 컨트롤러 및 동작감지 센서 모듈 케이스 시작품 제작
- 수위 및 물흐름 감응 및 대응 컨트롤 알고리즘 적용



[무선 재배기 다중 컨트롤 디바이스 및 동작감지 센서 모듈 케이스 시작품 모델링]



[무선 재배기 다중 컨트롤 디바이스 및 동작감지 센서 모듈 시작품 정보 라벨 시안]

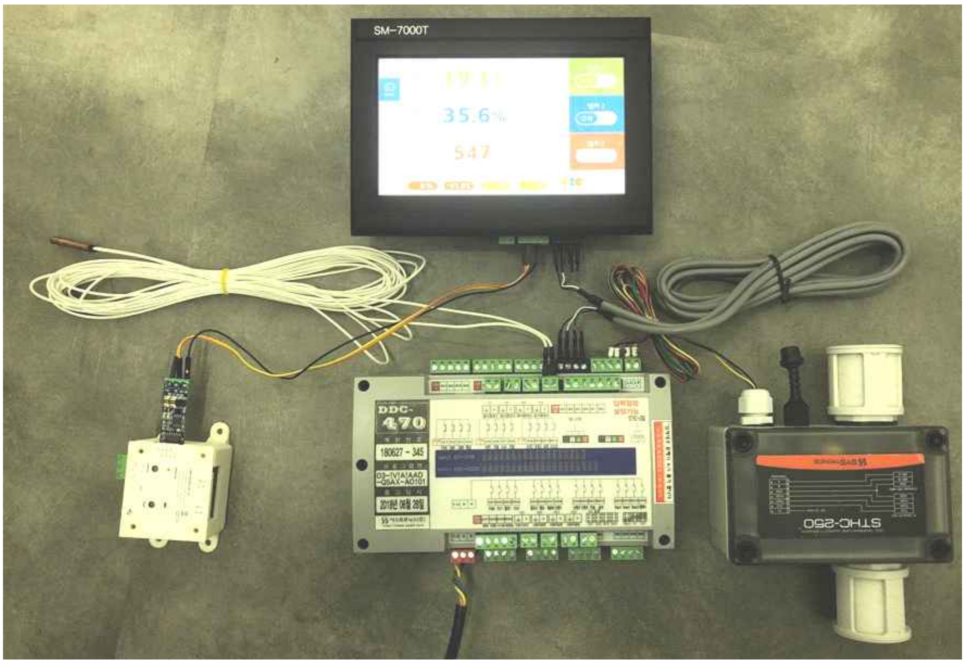
제어 기능	자동 제어 내용
스위치 제어	원격 수동 On/Off 제어
LED 제어	On Time(hh:mm 단위), Off Time(hh:mm 단위) 예약 설정
Pump 제어	동작시간(Duration - 초 단위), 비동작시간(Interval - 분 단위) 예약 설정
Water Valve 제어	물탱크의 일정 수위 유지를 위한 기능
CO2 Valve 제어	대기 중 일정 범위의 CO2 농도 유지를 위한 기능

[무선재배기 컨트롤 채널별 가능한 컨트롤 기능 구성]

[무선 재배기 다중 컨트롤 디바이스 및 동작감지 센서 모듈 시작품]

- 공조기 컨트롤 디바이스 및 센서 인터페이스 모듈 개발/제작 내용

- 신성이엔지 공조기 실시간 컨트롤 및 센서 인터페이스 디바이스 개발
- 온도, 습도 실시간 데이터 수집 인터페이스 및 서버 전송 컨트롤 프로그래밍
- 공조기 전원 제어 및 목표 값(온도, 습도) 전송 제어 프로그래밍
- RS485 대응을 위한 TTL232 컨버팅 인터페이스 회로 구성
- MODBUS 프로토콜 대응 알고리즘 구성 및 CRC 체크 루틴 프로그래밍



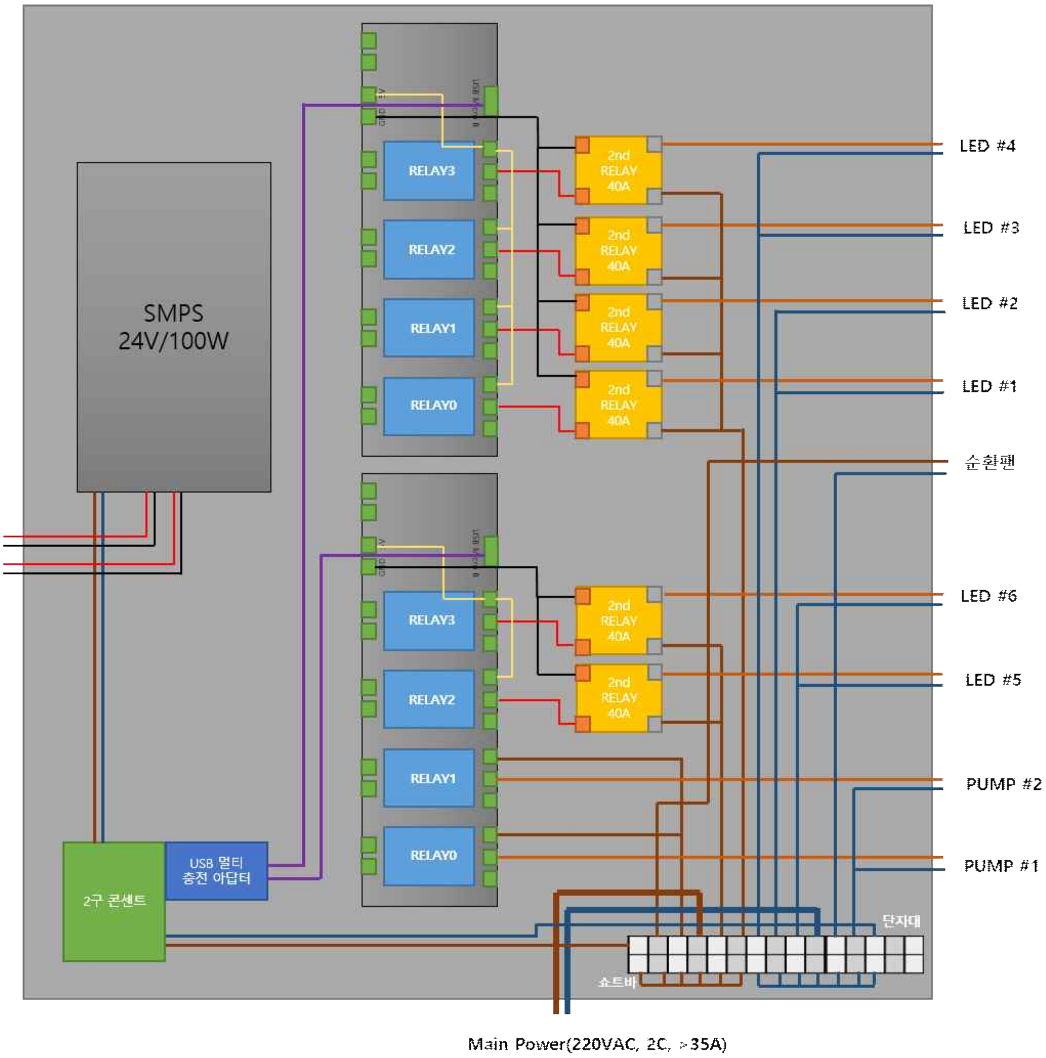
[공조기 컨트롤 디바이스 및 센서 인터페이스 모듈 테스트 구성]

[공조기 컨트롤 디바이스 및 센서 인터페이스 모듈]

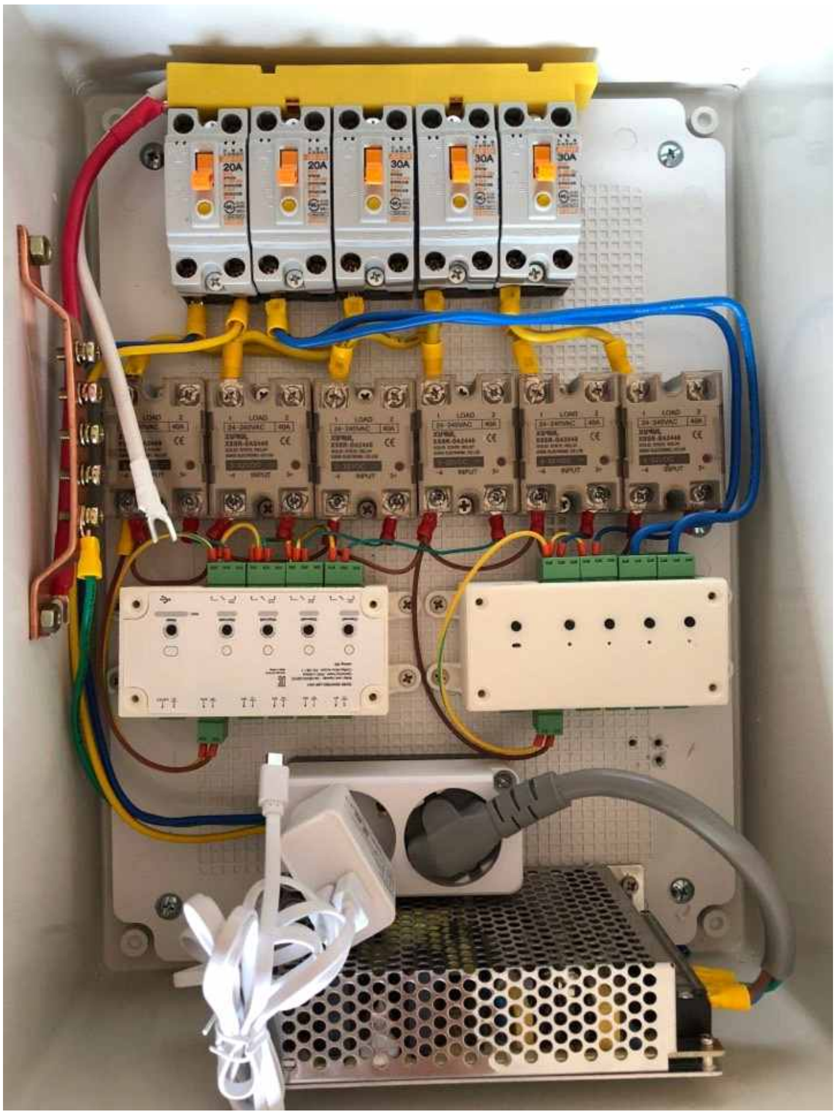
- 식물공장 재배 컨트롤러 및 센서 실증 테스트 환경 구성
  - 재배사 내 컨트롤러 및 센서 테스트 모듈 배치안 구성
  - 재배사 내 네트워크 환경 구성 및 서버 분전함 제작
  - 재배기의 다중 펌프 및 엘이디 제어 컨트롤 분전함 4조 제작

구분	사이즈 (WxLxH)	수량	용량(max)
서버 분전함	400x500x170mm	1	< 5W
제어기 분전함	400x500x170mm	4	< 30W
대기센서	80x120x60mm	2	< 5W
카메라		2	< 5W
무선확장기	131x 98x90mm	2	< 3W

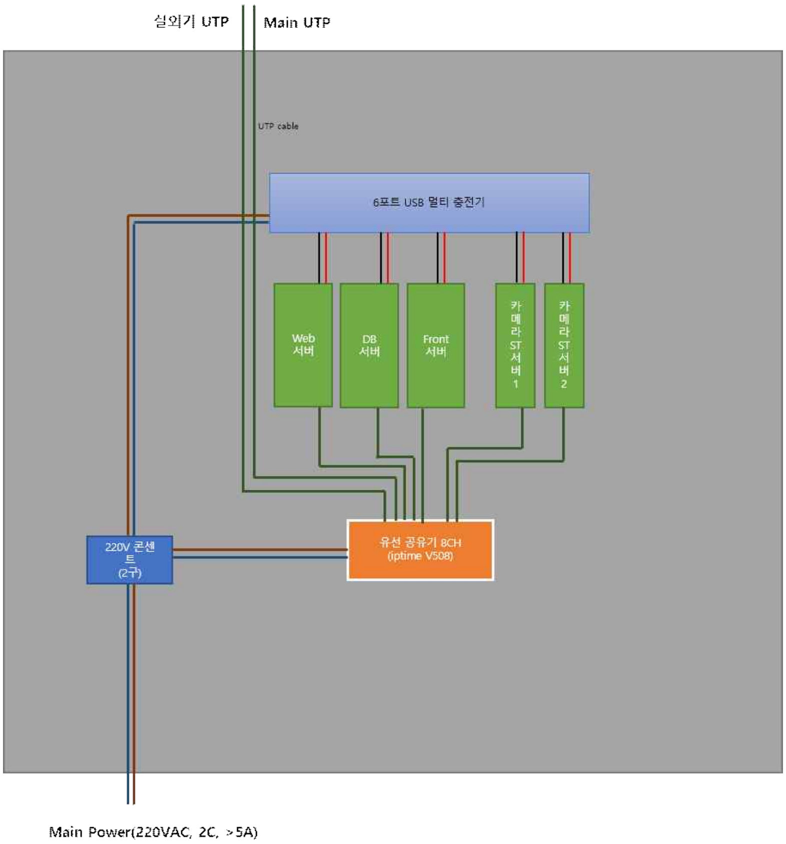
[재배사 내 컨트롤러 및 센서 테스트 모듈 배치안 구성도]



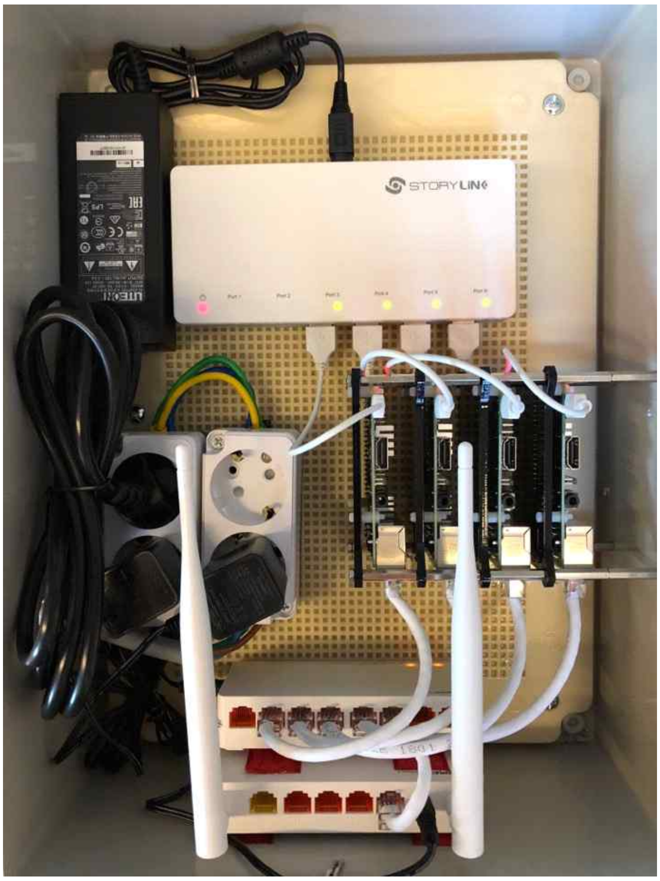
[재배기의 다중 펌프 및 엘이디 제어 컨트롤 분전함 내부 구성도]



[재배기의 다중 펌프 및 엘이디 제어 컨트롤 분전함]



[재배사 제어용 라우터 및 서버 분전함 구성도]



[재배사 제어용 라우터 및 서버 분전함]

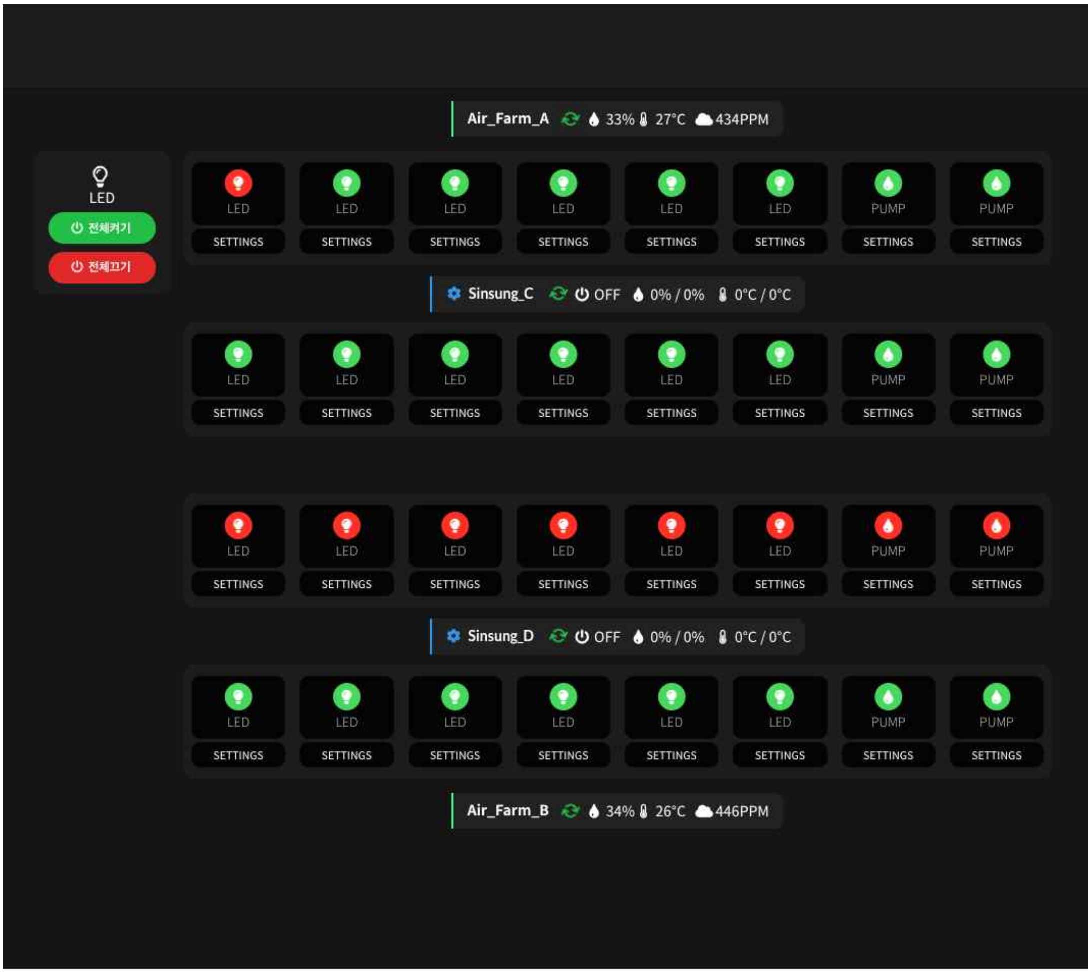
○ 식물공장 전용 서버 시스템 및 원격 관제 어플리케이션 개발

- 식물공장 전용 서버 시스템의 개발 내용

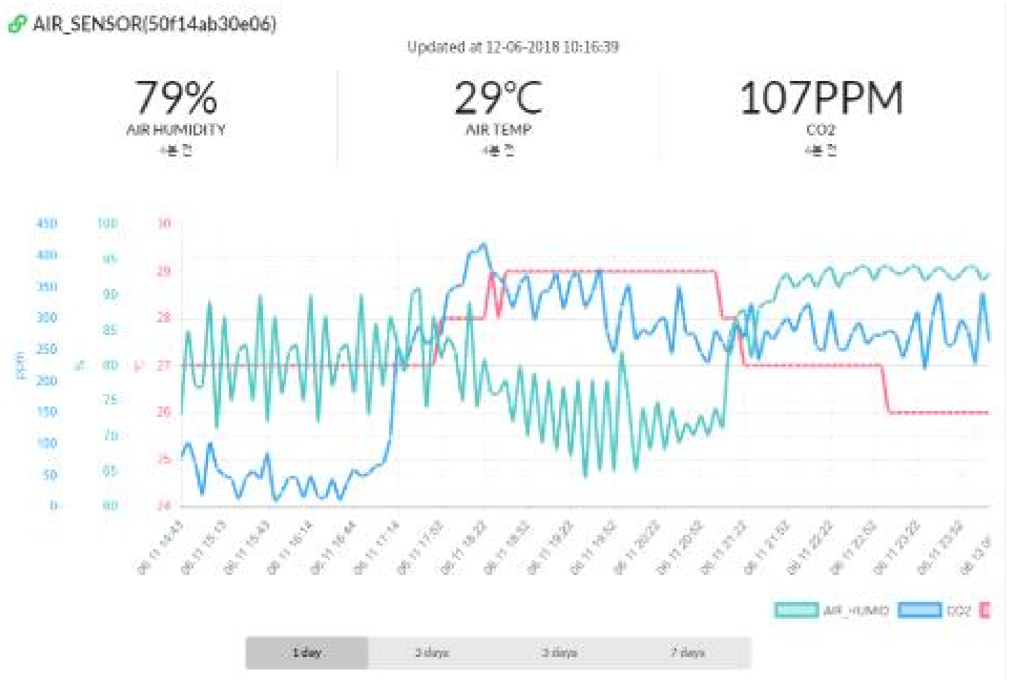
• 카메라 정보를 Web에서 다이렉트 모니터링 가능한 스트리밍 서버 개발
• 사용자 인터페이스를 위한 웹 대응 프론트엔드 서버 및 GUI 개발
• 농장 정보 및 센서 데이터, 컨트롤 데이터를 축적하는 데이터베이스 서버 개발
• 프론트엔드와 데이터베이스 서버의 인터페이스를 담당하는 백엔드 서버 개발
• 다자간 메시지를 처리하는 IoT 표준 프로토콜 기반 MQTT 서버 개발
• 센서 및 컨트롤러의 서버간 프로토콜 패킷 개발

- 식물공장 전용 웹기반 관제 어플리케이션 개발

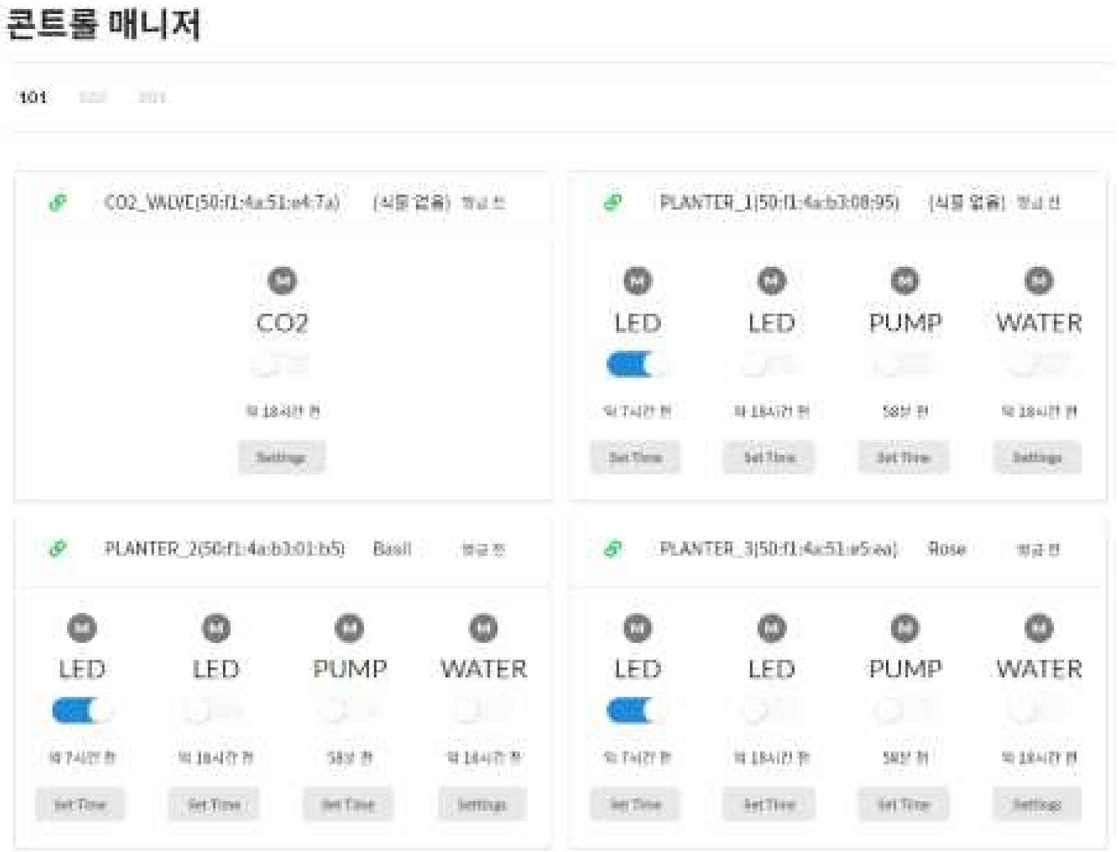
• 다양한 단말에 적용 가능한 웹 기반 어플리케이션 개발
• 위치별 센서 및 디바이스 상황을 관측 할 수 있는 대시보드 GUI 개발
• 센서의 시간대별 로그값을 그래프로 확인할 수 있는 모니터링 GUI 개발
• 실시간 제어기 상태를 확인하고 제어기 별 제어값 세팅을 위한 GUI 개발
• 디바이스 게이트웨이 별 맥어드레스 및 기능 관리를 위한 GUI 개발



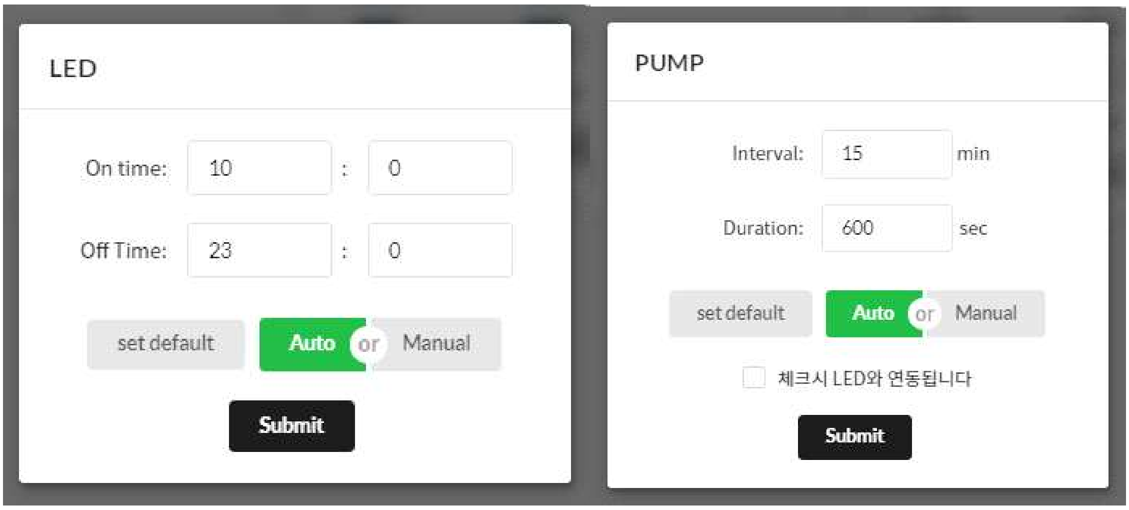
[식물공장 전용 대시보드 구성 화면]



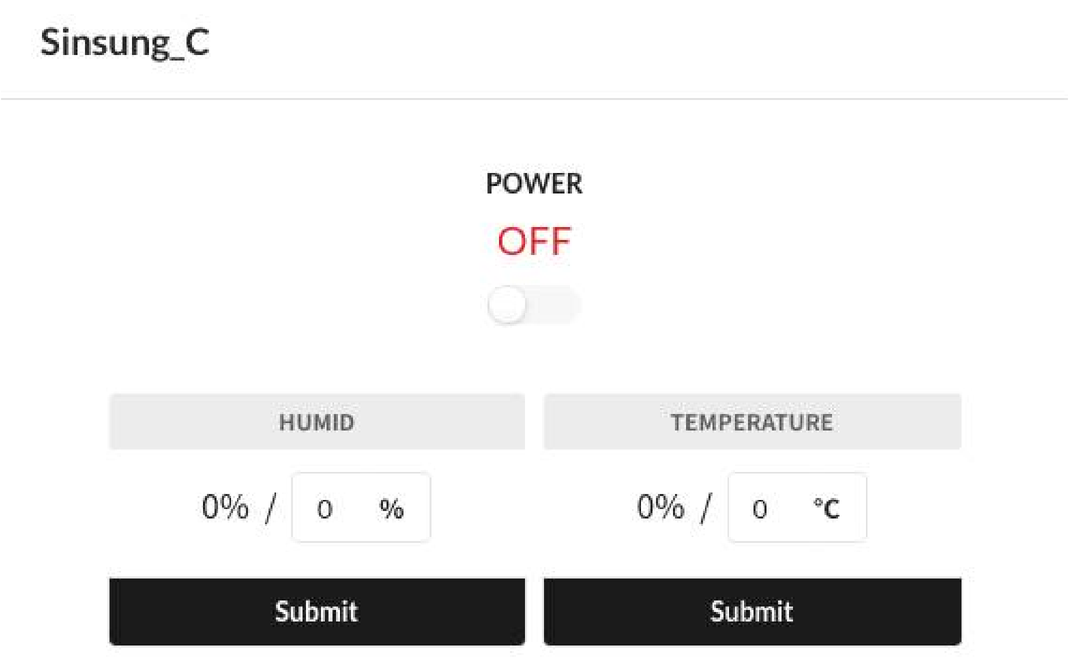
[식물공장 전용 센서값 모니터링 구성 화면]



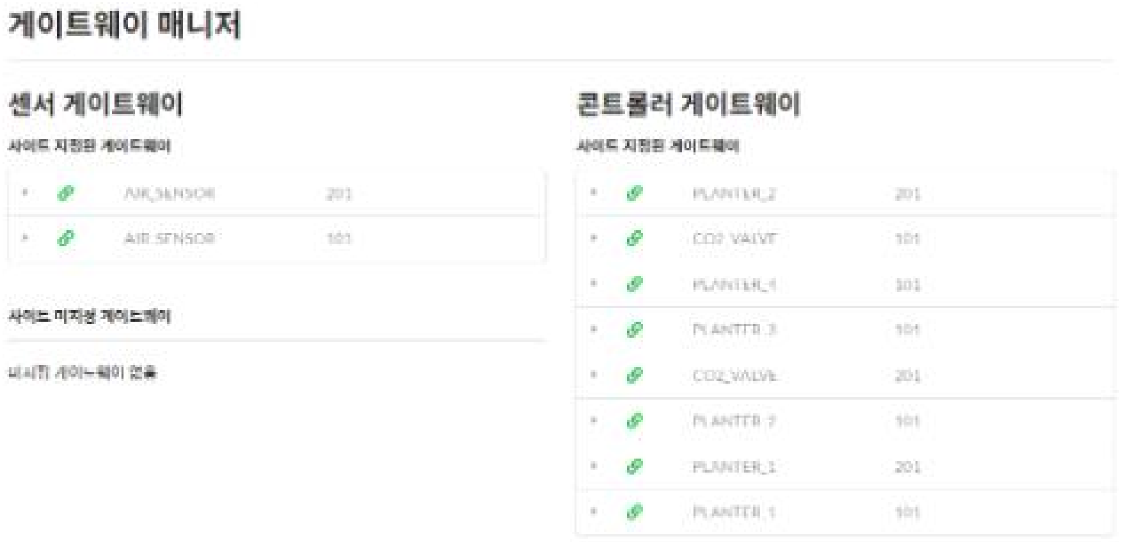
[식물공장 전용 컨트롤러 제어 구성 화면]



[식물공장 전용 LED(좌), PUMP(우) 타겟 제어값 입력 GUI]



[신성이엔지 공조기 현재 온습도 값 출력 및 타겟 제어값 입력 GUI]



[디바이스 게이트웨이 별 맥어드레스 및 기능 관리를 위한 GUI 개발]

(3) 재배베드 구축

[재배프레임 설치]

[인공광원 및 제어기]

[내부 파티션]

[위생 전실]

[재배베드 구축 사진]

[내부 밀폐구조/관람창 제작]

[식물공장 생산시스템의 현장보급을 위한 실질적인 모델구축]

○ 재배베드 프레임 모듈화_개선 사항

- X- Bar를 활용하여 프레임 모듈 연결
- 인공광원 하우징을 활용한 프레임 수평 고정

[프레임 모듈]

[X-Bar를 활용한 고정]

[볼트 조립구조로 비전문가 조립]

○ 배양액 순환 시스템의 개선 사항

[이전 재배거터]	[개선 사항]

개선 전 문제점	개선 사항
○ 순환 배관 구성 시 물 사용에 적합한 PVC 파이프를 통하여 작업이 이루어 졌으며 전용 본드를 사용해야 하므로 파이프 절단 사이즈 및 본딩 처리에 전문가가 필요. ○ 밸브 교체 시 본딩 작업으로 인한 교체에 어려움 발생. ○ 식물공장 운영을 하면서 재식거리 변화에 따른 거터 추가에 어려움 발생.	○ 급수 순환 구성을 기성 원터치형 밸브를 사용 하도록 하여 쉽게 교체를 할 수 있도록 개선. ○ 본딩 처리가 없이 호스를 연결 할 수 있도록 개선. ○ 기본 순환 배관을 4구를 사용하여 재식거리 변화에 따른 재배거터 추가가 가능 하도록 개선.

○ 재배판 개선 사항

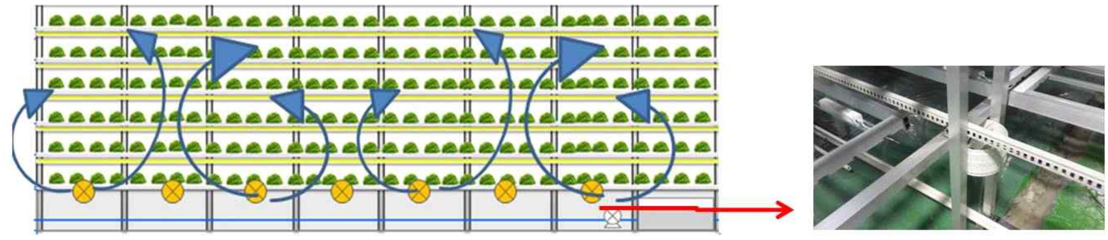
- 기존 재배판 ‘ ㄷ’ 형태이므로 식물 공장 운영 시 추후 세척에 어려움이 있고, 운영 인건비적인 측면에서 문제 발생.
- 재배판은 판 형태로 만들어 굴곡 점이나 모서리를 없애여 세척에 용이 하도록 하며, 추후 롤형태를 만들어 재배관리의 인건비 절감을 고려하여 개선.

[기존 재배판]

[개선 된 재배판]

○ 재배베드 내 기류 이동

- 식물공장은 다단 재배이며 위/아래 공기를 순환하지 않으면 식물 성장에 문제 발생 요인이 될 수 있음.
- 밀폐 공간에서의 밀식 재배는 기류가 머물러 있을 수 있으며, 단과 단이 서로 막혀 있다면 기류 이동 통로가 없으므로 거터 시스템 적용.
- 재배 베드 하부에 공기를 순환하는 기류 이동 시스템을 넣어 식물이 성장 할 수 있는 최적의 환경 조성.



※ 재배 배드에 칸 마다 1.2m 간격으로 순환 Fan을 장착 하여 밀식/다단 재배에 따른 공기의 순환을 원활히 해주고 지속적으로 0.5m/sec의 바람을 발생 시킴

[밀식재배에 따른 기류 이동 시스템]

[개선 전]

[기류 이동 개선]

○ 인공광원의 모듈화_개선
- 인공광원 하우징을 통하여 칸 별 광원 모듈 및 볼트 구조의 작업 개선

[LED with Housing]

[LED with Housing 프레임 부착 사진]

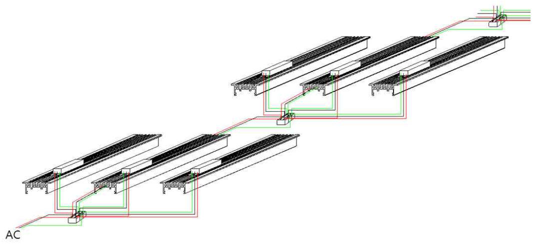
○ 인공광원의 모듈화 개선 사항
- 밀폐형 식물공장에서 LED가 햇빛을 대신하는 역할로서 식물의 광합성 작용이 일어 날 수 있습니다. 165㎡에 식물공장 구축 시 LED Bar가 약 1,200 Bar를 필요로 하며 1,200 Bar를 재배 프레임에 볼트 구조로 부착/전선 연결을 많은 인원과 시간을 필요로 하므로 제품 단가 상승 요인 임.
- 인공광원에 맞는 클립과 Housing을 만들어, 설치하는 모듈 자체를 96개의 모듈로 줄이고 LED Bar를 프레임 부착 방식이 아닌 Housing을 볼트 구조로 프레임에 부착을 하는 방식을 통한 인건비 절감을 통한 개선.
- 협동기간인 DM LED와 교류를 통해 기존 Bar의 단가를 줄이기 위해 Chip의 효율 부분을 고려하여 Cell별로 들어가는 LED Bar 개수 및 Chip 개수를 최적으로 설계하여 제품 단가 개선. 또한, LED 수명과 열을 상관관계를 통한 Heatsink 방열 구조를 3배를 잡아서 반영구적으로 사용 할 수 있도록 개선.
- 유지 관리 적인 측면에서 인공광원이 차지하는 부분이 있기 때문에 클립/커넥터 타입으로 개선을 하여 전문가가 아닌 일반인도 쉽게 교체 하여 운영비 절감.

[LED 부착 모습]

[Bar 단품 모습]

[LED 고정 클립]

[모듈 제작과 현장 설치 사진]



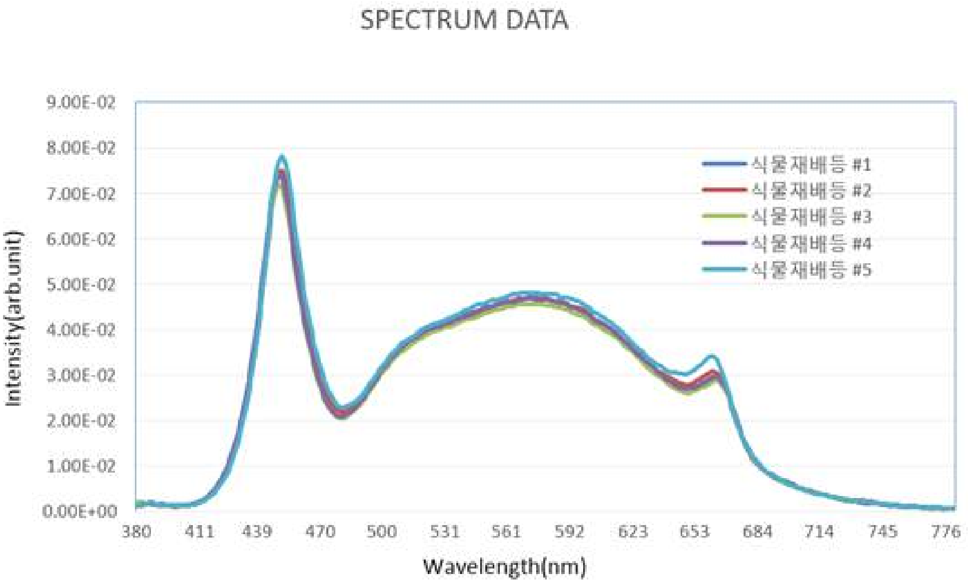
[조명 설치 배선도]

○ 인공광원 광특성 측정 결과

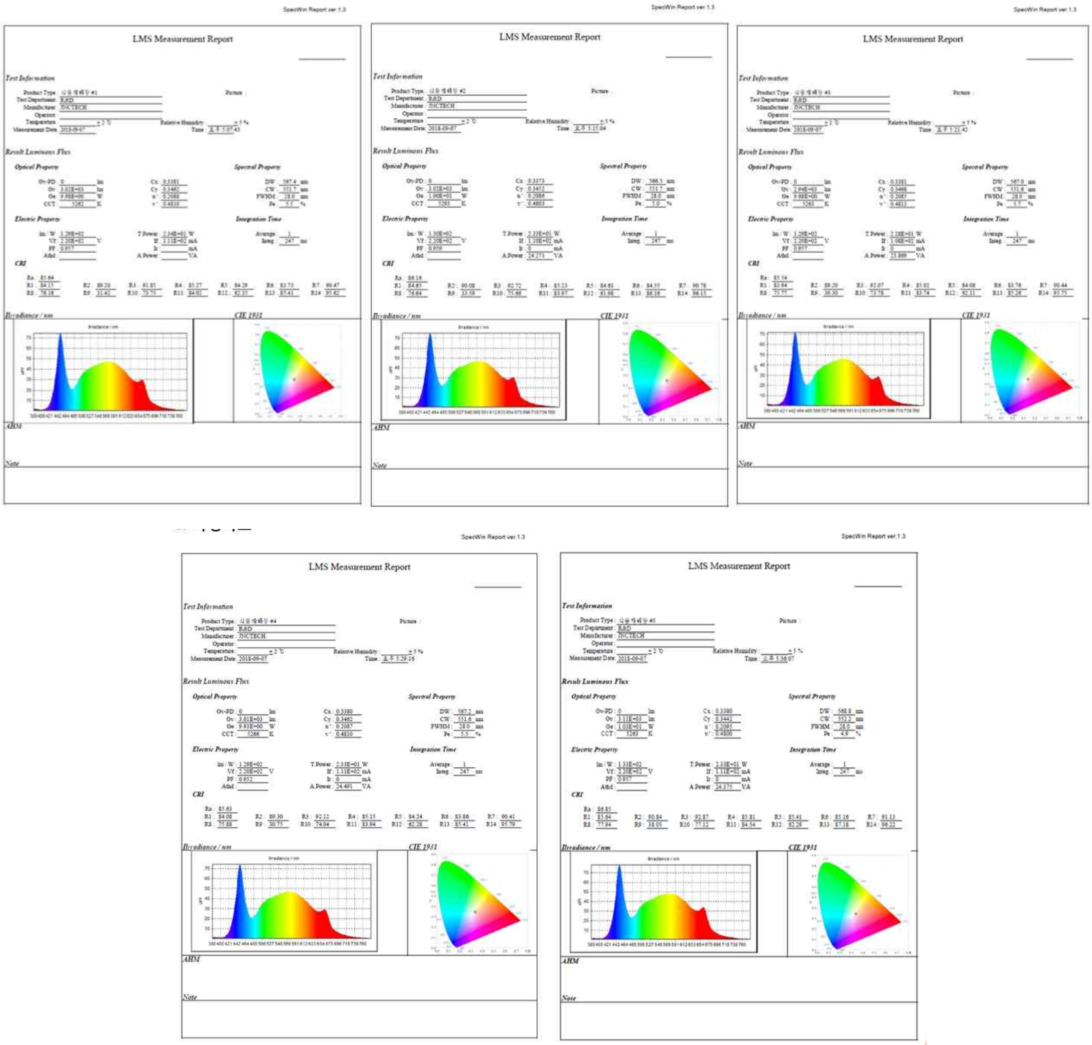
- 제작된 제품에 기본적인 광특성을 적분구를 통하여 측정 결과 소비전력은 평균 23W수준으로 제작 되었음.
- 총광속은 3000lm으로 광효율은 129lm/W로 양호한 수준의 제품제작이 되었음. 일반조명제품의 고효율기자재 기준 110lm/W이므로 상대적으로 비교시 매우 높은 효율의 제품

Model ID	식물재배등 #1	식물재배등 #2	식물재배등 #3	식물재배등 #4	식물재배등 #5
Øv [lm]	**3.02E+03**	**3.02E+03**	**2.94E+03**	**3.01E+03**	**3.11E+03**
Øe [W]	9.98E+00	1.00E+01	9.68E+00	9.93E+00	1.03E+01
Cx	0.3381	0.3373	0.3381	0.338	0.338
Cy	0.3462	0.3452	0.3468	0.3462	0.3442
u'	0.2088	0.2086	0.2085	0.2087	0.2095
v'	0.481	0.4803	0.4813	0.481	0.48
DW [nm]	567.4	566.5	567	567.2	568.8
CW [nm]	551.66	551.69	551.57	551.55	552.15
Pe [%]	5.5	5	5.7	5.5	4.9
CCT [K]	5262	5293	5263	5266	5263
X	2.95E+03	2.95E+03	2.86E+03	2.94E+03	3.05E+03
Y	3.02E+03	3.02E+03	2.94E+03	3.01E+03	3.11E+03
Z	2.76E+03	2.78E+03	2.67E+03	2.74E+03	2.87E+03
FWHM [nm]	28	28	28	28	28
Peak at [nm]	450	451	450	450	451
Val [W]	7.44E-02	7.51E-02	7.18E-02	7.41E-02	7.82E-02
lm / W	**1.29E+02**	**1.30E+02**	**1.29E+02**	**1.29E+02**	**1.33E+02**
Vf [V]	2.20E+02	2.20E+02	2.20E+02	2.20E+02	2.20E+02
If [mA]	1.11E+02	1.10E+02	1.08E+02	1.11E+02	1.11E+02
W	**2.34E+01**	**2.33E+01**	**2.28E+01**	**2.33E+01**	**2.33E+01**
PF	0.9569	0.9589	0.957	0.9516	0.9572
Ra	85.64	86.16	85.54	85.63	86.85

[광 특성 측정 자료]



[제품 스펙트럼 데이터]



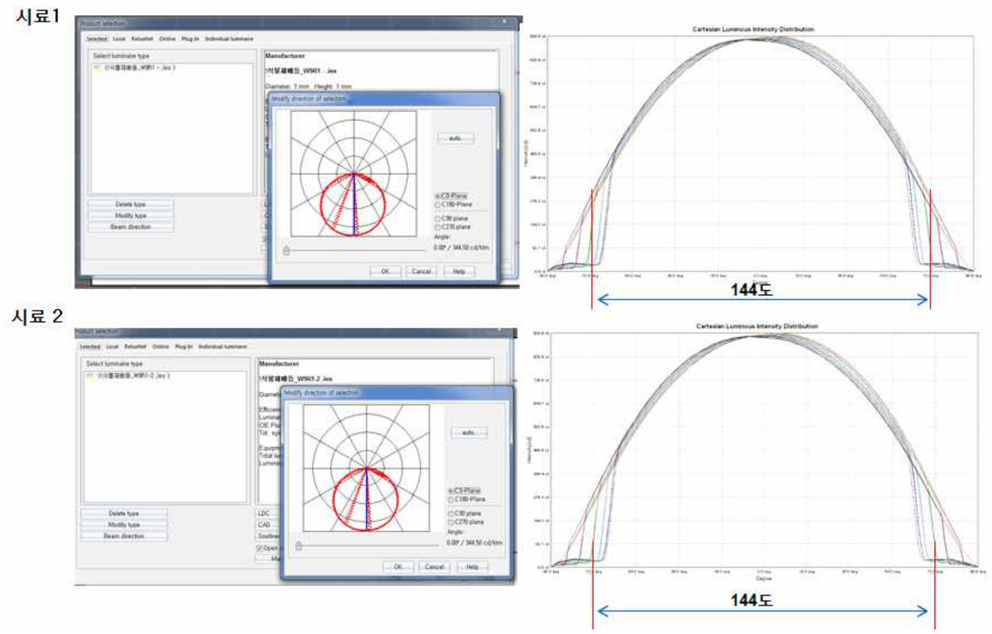
[광 측정 보고서 시료#1 ~ 5]

○ 균제도와 u-mol 측정결과

- 광합성에 필요한 u-mol측정결과 165수준으로 양호한 결과가 돌출되었음.
- 평균 85%이상의 균일도가 측정결과가 나와 동일 공간에서 균일한 빛 조사가 가능하여 균일한 성장이 가능할 것으로 판단됨.
- 식물에 균일 한 조사를 위해서는 넓은 배광 특성을 확보가 필요하다. 제작된 시료의 배광은 최대 144도 수준으로 넓은 영역의 빛 조사가 가능한 함

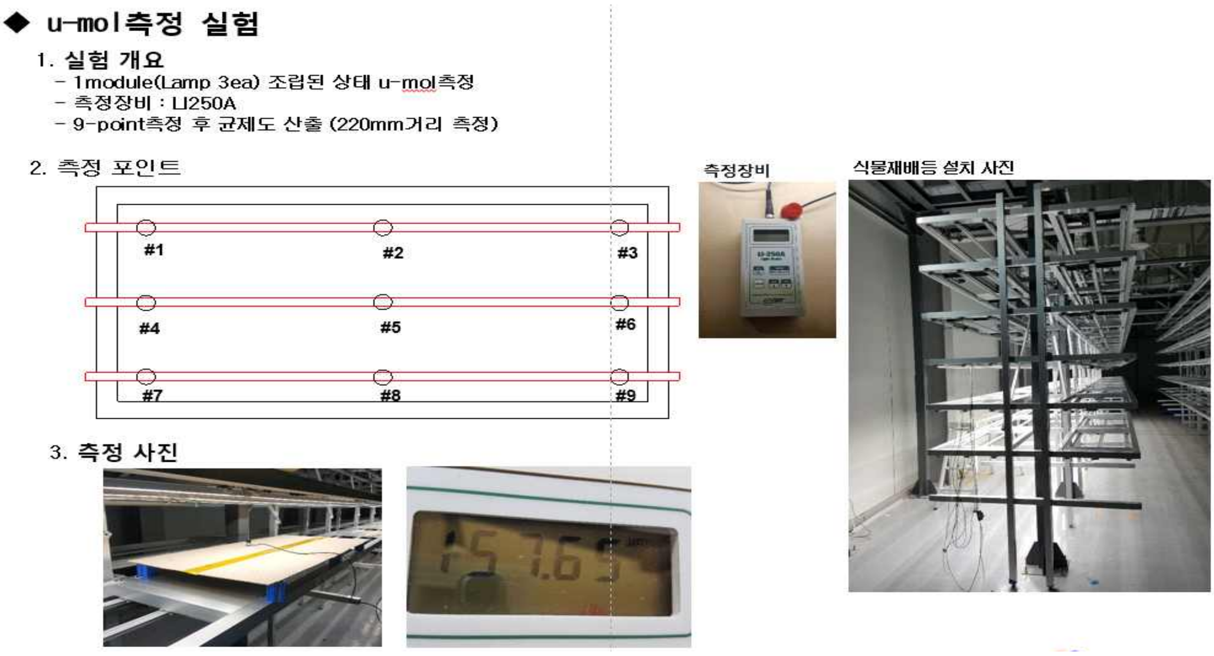
항 목	측정값	결 론
u-mol	164	기존대비 상승
균제도(max/Ave)	90%	균일한 조사
균제도(min/Aver)	86%	균일한 조사

○ 균제도 측정 결과



[배광 데이타]

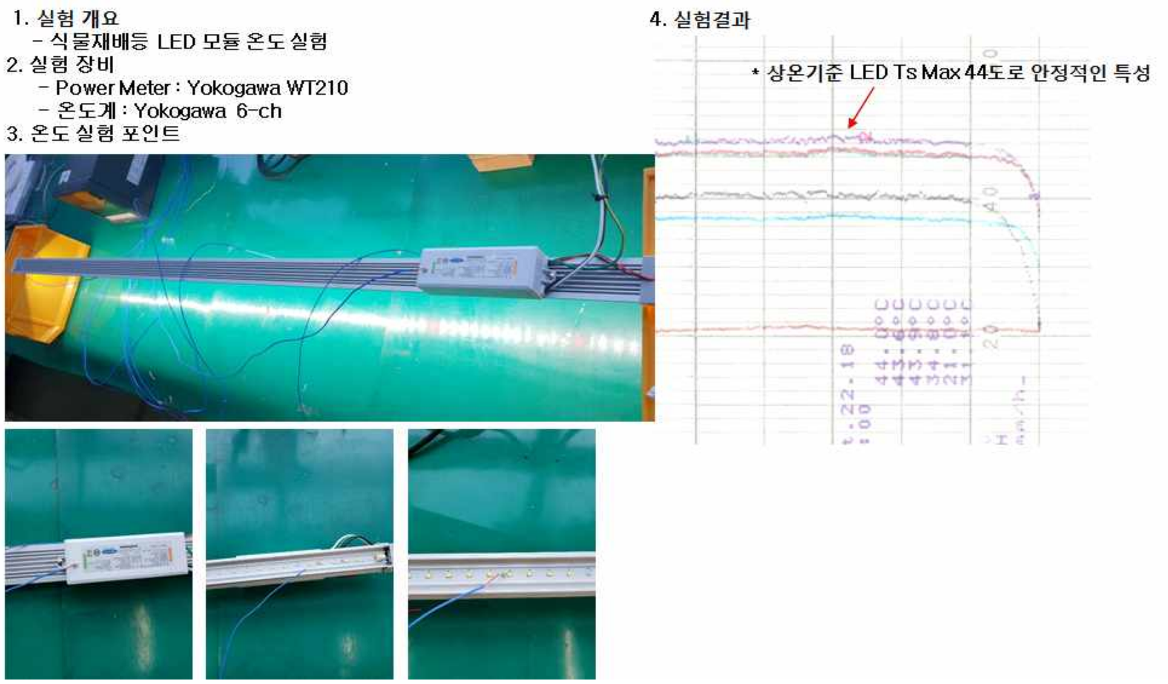
○ u-mol 측정 방법



○ 측정 장비

- 설치 제품의 신뢰성 검증

- 본 연구에서 개발한 제품에 신뢰성 검증을 통하여 내구성이 확보를 하였음.
- LED Ts온도 측정을 통하여 LED수명 산출을 하였음. 기존 제조사 제공 자료는 바탕으로 밝기 10% Drop시 까지의 산출시간이 최소 50,000이상 확보를 하였음. SMPS 수명 또한 상온기준으로 약 9만 시간 이상 확보를 하였음.



[온도 측정과 결과]

Shenzhen BST Technology Co., Ltd. Report No.: BST1510440900002Y-1S

Test Results Summary:

Summary	I	II	III
Condition	Ts=54.2℃ T_A=53.3℃ R.H.<65% I_F=150mA	Ts=84.6℃ T_A=83.3℃ R.H.<65% I_F=150mA	Ts=104.8℃ T_A=104.2℃ R.H.<65% I_F=150mA
Duration(hour)	10000	10000	10000
Interval(hour)	0,1000,2000,3000,4000 5000, 6000,7000,8000,9000, 10000	0,1000,2000,3000,4000, 5000, 6000,7000,8000,9000, 10000	0,1000,2000,3000,4000, 5000, 6000,7000,8000,9000, 10000
Sample number	20	20	20
Average Lumen Maintenance at 10000 hour	94.20%	94.04%	90.57%
Average Chromaticity Shift △u'v' at 10000 hour	0.0042	0.0052	0.0059
Failure	0	0	0
α	7.159E-06	7.326E-06	1.102E-05
β	1.017	1.009	1.009
Calculated L70(10k) (hours)	52,000	50,000	33,000
Reported L70(hours)	52,000	50,000	33,000

측정결과
Ts : 44도
Ta : 25도
If : 95mA / LED

- 예상 수명은 최소 52,000시간이상
* LM80 LED제조사 제공 자료

[LED 수명 자료(LM80)]

모델명(DRV P/N) RLD-LC 21W SMPS

$$Lx = Lb \times 2^{\frac{T_{max}-T_s}{10}} \times 2^{\frac{\Delta T_0-\Delta T}{5}}$$

* Formula from NCC
L_x: life expectancy at temperature Ts
L_b: Life at temperature T_{max}
T_{max}: Maximum guranted temperature
T_s: Operating surface temperature
ΔT_0: Temperature increase at capacitor core, at the maximum guaranteed temperature, 5℃
ΔT: Actual temperature increase at capacitor core
I_x: actual ripple current
I_0: maximum permissible ripple current
K:Ripple acceleration factor
(K=2, if with in allowable ripple current)
(K=4, if exceeding allowable ripple current)

[1] Life Time Data.

No.	Judge-ment		Ref. Deg.	Manufac-turer	Type	V	Capaci-tance	T_O	L_O	Ripple Current I_O	F_f	I_O*F_f	$F_{T,85℃}$	$I_O*F_f*F_T$	V_{MAX}	I_{RIPPLE} rms	Freq.	Temperature Ta	T_{S}_at	ΔT	Lifetime Expectancy	OK/NG	Voltage Stress	OK/NG	Current Stress	OK/NG	Remark
	220V																Ta=	25.0℃	25.0℃		90,000H		90%		80.0%		
1	OK	KTC	C2	TEAPO	KTC	50V	4.7uF	105℃	8000H	45mA	0.95	42.75mA	1	42.75mA	24.00	23.00	50kHz	76.00	76.00	.00℃	119,428H	OK	48.0%	OK	53.8%	OK	약조건
2	OK	KTC	C21	TEAPO	KTC	50V	470uF	105℃	5000H	1260mA	0.95	1197mA	1	1197mA	30.00	885.00	50kHz	72.30	72.30	.00℃	96,465H	OK	60.0%	OK	73.9%	OK	약조건

(Part Specification: Ref. Deg. – $I_O*F_f*F_T$; Measured: V_{MAX} – ΔT; Calculation & Judgement: Lifetime Expectancy – OK/NG)

- 예상 수명은 최소 90,000시간이상 (Ta : 25도 조건)

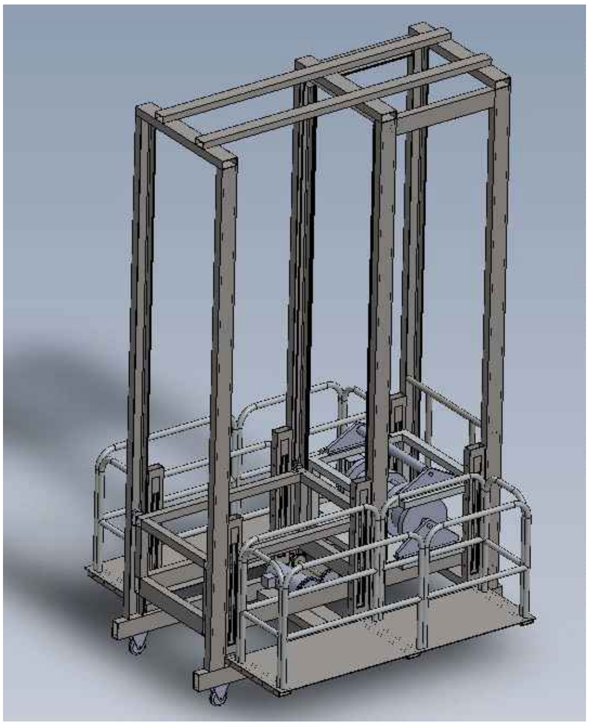
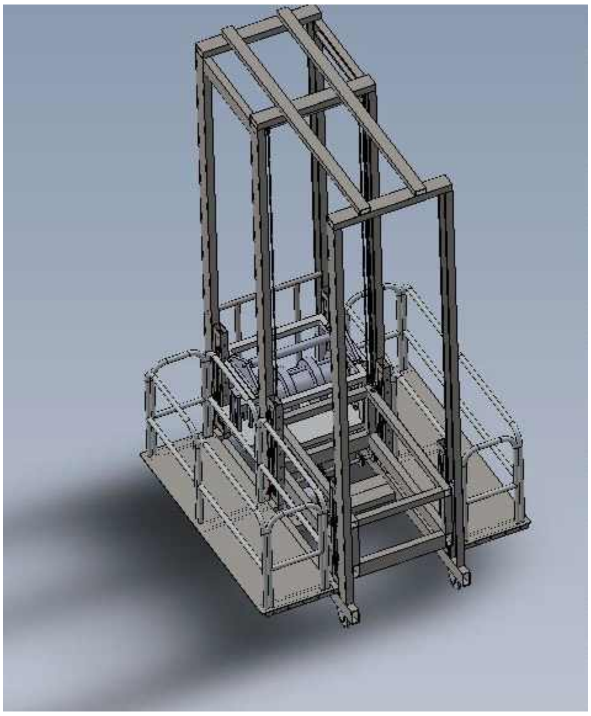
[SMPS 수명 산출 자료]

2. 운영비 절감을 위한 수확 보조 시스템의 설계

○ 식물공장 운영에 있어서 인건비 부분이 운영비이 많은 비중을 차지 하고 있다.

○ 밀폐형 식물공장은 밀식/다단 재배 이며, 공간의 활용을 높이기 위해 단을 높여 식물을 재배하게 되며, 기존 농가의 리프트는 이동 공간 확보 및 안전성을 고려한다면 식물공장에는 효율이 떨어 질 수 있다.

○ 식물공장에서 사용 할 수 있는 보조 시스템을 만들어 한곳에서 수확 관리를 하며, 인건비를 줄일 수 있는 보조 시스템의 필요에 의해 설계 진행.

[재배 관리 보조 장비 컨셉]

3. 재배작물(케일)의 생장과 기능성 성분에 대한 연구

(1) 황산암모늄 및 LED광원을 사용한 식물 공장에서 케일의 생장 특성 및 글루코시놀레이트의 함량 증진

가. 재배작물(‘케일’)의 연구 배경

○ 최근에, 소비자는 건강 증진 효과 및 면역 활동을 함유한 작물의 관심이 늘어나면서 기능성채소의 소비가 증가하는 추세이다. 채소 중에서 케일(Brassica oleracea var. alboglabra Bailey), 붉은 양배추 (Brassica oleracea var. capitata f. rubra L.), 방울다다기 양배추(Brassica oleracea var. germmifera Zenker), 콜라비(Brassica oleracea var. gongylodes L.) 및 브로콜리 (Brassica oleracea var. italica Plen)와 같은 배추과 채소는 글루코시놀레이트가 풍부하다(Kushad et al., 1999; QIA, 2019). 글루코시놀레이트(즉, 황 및 질소를 함유 한 식물에서 100 개 이상의 이차 대사 산물)을 함유 한 배추과 식물은 농업적 및 상업적으로 중요한 작물이다 (Fenwick and Heaney, 1983; Ivana et al., 2008). 그중에서도 중국 남부 지방의 유명하고 특별한 채소로 알려진 케일은 다량의 글루코시놀레이트를 함유한 대표적인 배추과 작물입니다 (Xin et al., 2015).

○ 글루코시놀레이트는 아미노산 전구체 및 구조에 따라 3 개의 그룹으로 나눌 수 있다. 첫 번째, 지방족 화합물 글루코시놀레이트는 메티오닌, 이소류신, 류신 또는 발린으로부터 유래되고; 두 번째, 알리파틱 글루코시놀레이트는 페닐알라닌 또는 티로신으로부터 유래되고; 그리고 세 번째, 인돌 글루코시놀레이트는 트립토판에서 유래하였다 (Wittstock and Halkier, 2002). 글루코시놀레이트중에서도 시니그린(allyl-glucosinolate 또는 2-propenyl-glucosinolate)은 사람에게 건강상의 유익한 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Fahey et al., 2001). 글루코시놀레이트는 해독 효소의 활성을 유도함으로써 항암 효과를 발휘하며, 시니그린의 가수 분해는 미로시나아제 효소에 의해 촉매된다

(Teklehaymanot et al., 2019).

- ○ 시니그린은 브로콜리, 콜라비, 그리고 겨자와 같은 배추과 식물에 존재하는 천연 지방족 화합물 글루코시놀레이트중 하나이다. 고대부터 시니그린의 약리학적 활동에 대한 연구는 항암, 항균, 항진균, 항산화, 항염증 활성, 상처 치유 특성 등을 밝혀냈다(Mazumder et al., 2016). 그러나 배추과 식물에서는 농도가 다양하며 유전자형, 농장 및 음식 조리법에 따라 다르다(Possenti et al., 2017). 글루코시놀레이트 함량은 또한 환경적 요인, 식물 부위, 식물 생육의 생리적 단계 및 곤충해에 따라 함량이 상이하다(Velasco et al., 2007; Pedras et al., 2011). Jóska et al. (2009)는 질소 및 황과 같은 비료를 추가함으로써 식물 생장에서 시니그린의 농도가 증가시키는 것으로 제안하였다.
- ○ 겨울철에는 유황이 함유된 연료를 사용하고 이산화황을 방출하는 난방 시스템으로 온실 내 온도를 유지하며 이는 유황 화합물과 식물간에 서로 영향을 끼친다는 이전 연구가 보고되었으며, 고농도의 황은 온실의 작물을 손상시키고 공기 중의 황의 농도가 제대로 제어되지 않으면 농민에게 해를 끼칠 수 있다(Kim et al., 2011). 그럼에도 불구하고 황은 작물에 부정적인 영향을 끼치는 것만이 아니며, 황이 낮은 수준으로 공급되면 식물의 성장을 위한 주요 영양소로 긍정적인 영향을 미친다(Darral, 1989; Kim et al., 2011; Ashraf and Harris, 2013; Lee et al., 2017). 황은 뿌리와 잎을 통해 황산염으로 흡수되며 시스테인, 메티오닌, 글루타티온, 황산 및 글루코시놀레이트와 같은 필수 화합물을 합성하는데 사용되며, 이는 본 연구에서 논의 된 주요 기능성 화합물이다. 또한, GSL 합성 및 함량은 유황과 질소가 식물의 생장과 생화학적 과정에서 중요하다. 배추과 연구에서 글루코시놀레이트는 충분한 황의 농도와 높은 질소의 공급이 있을 때 증가하는 것으로 밝혀졌다(Zhao et al., 1994; Ahmad et al., 2007; La et al., 2009).
- ○ 소비자들이 건강을 유지 및 증진하기 위해 안전한 식품과 기능성채소를 요구하고 있으며, 농부들은 안정적인 공급을 필요로 하기 때문에 식물공장이 대두되고 있다. 식물공장은 수경재배 시스템과 인공 광원을 이용하여 친환경 농업 생산 시설로 인증 될 수 있는 완전 제어식 공장이다. 식물공장에서는 공간 제약으로 인해 많은 열을 발생시키는 고압 나트륨 광원이 사용하기가 어려우며, 형광등과 발광 다이오드(LED)가 광원으로 사용되어 광 에너지 활용 효율을 향상시키기 때문에 LED가 주로 이용된다(Kozai, 2007). LED는 또한 작은 무게와 부피에 기초하여 식물 생장 챔버에 적합한 광원으로서 사용이 가능하다(Bula et al., 1991; Bartraet al., 1992).
- ○ 케일의 지상부에서 글루코시놀레이트 함량은 단일 LED의 색상에 따라 차이가 있다(Qian et al., 2016). 광주기에 따른 애기장대와 브로콜리를 이용한 실험에서 글루코시놀레이트 생합성에서의 변화가 보고되었다(Husbey et al., 2013; Sterindal et al., 2013). 시니그린은 케일 실생묘에서 파장에 따라 유의하게 반응했으며, 특히 640nm와 730nm 파장은 높은 시니그린 함량을 보였지만 다른 파장의 처리는 시니그린의 축적에 영향을 미치지 않았다. 더욱이, 이러한 파장은 시니그린을 제외한 모든 글루코시놀레이트의 축적에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Lefsrud et al., 2008). 따라서 황의 공급과 LED의 파장을 조절하여 기능성 화합물인 글루코시놀레이트를 향상시켜 식물공장 시스템에서 케일(Brassica oleracea var. alboglabra Bailey cv. Jellujon)을 생산으로 본 실험의 목표는 양액에 첨가된 4가지 농도의 황산암모늄(NH4)2SO4와 4가지의 다른 LED 조합을 사용하여 식물공장내에서 성장특성과 케일의 글루코시놀레이트의 수준을 구명하기 위해 수행되었다.

나. 재배 연구 결과

단일 LED (B0:R1:W12) 조건에서 다른 $(NH_4)_2SO_4$ 농도에서 케일의 성장 특성

○ 정식 후 4주 동안 케일을 (NH4)2SO4로 처리 한 후, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽두꼐 및 엽생체중에서 유의한 변화를 확인하였다. 그러나 초장, 엽록소 함량 및 엽수에는 큰 변화가 없었다(표 4). S3로 처리하였을 때, 모든 (NH4)2SO4 농도 중에서 초폭, 엽장, 엽폭 및 엽두께가 가장 크게 증가하였다. S3는 평균 엽생체중이 74.1g, 이어서 다른 처리구들보다 약 10-30% 더 높은 생육을 나타내었다. S2, S4 및 S1이 그 뒤를 순으로 엽생체중이 무거웠다. 케일의 엽생체중은 잎의 크기와 초장와 엽수에 영향을 받지 않는 것으로 추정되었다.

○ 고농도의 황에서는 잎의 크기와 모양이 변하거나 식물 성장이 감소한다(Royer et al., 2005; Bacon et al., 2013). 황 농도를 유지하고 질소 공급을 늘리면 겨자의 성장이 늦추어진다(Jóska et al., 2009). 또한 고농도의 황은 성숙한 잎보다 오래되거나 나온지 얼마 되지 않은 잎에 손상을 일으킨다(Iqbal et al., 2014). 충분한 질소 공급이 있더라도 황의 부족으로 인해 초장이 감소하는 것으로 밝혀졌다(Jóska et al., 2009). “최적의 법칙“은 다른 요소가 최적에 가까울수록 다른 요소의 흡수가 더 효과적이다(Liebscher, 1895; Wollny, 1887). 본 연구에서 (NH4)2SO4처리의 목적은 글루코시놀레이트 함량을 증가시키는 것으로, 글루코시놀레이트 함량에 대한 질소와 황 공급 사이의 긍정적인 상호 작용이 예상 될 수 있기 때문에 성장 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 수행하였다. 예비 실험에서, 케일은 S4보다 높은 (NH4)2SO4농도로 처리 될 때 성장이 지연되었다. 따라서, 본 실험에서 (NH4)2SO4의 한계 수준을 S4로 설정하였다(표 4). 실험에 사용된 (NH4)2SO4의 농도 범위는 질소와 황의 공급이 성장 특성에 부정적인 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다.

$(NH_4)_2SO_4$농도와 LED의 조합에 따른 케일의 성장 특성

○ 4가지의 (NH4)2SO4농도 및 4가지의 LED 조합으로 생성된 16개의 처리구들을 조사였다. 정식 후 4주째의 케일의 성장 특성은 엽폭을 제외한 초폭, 초장, 엽장, 엽두께, 엽록소 함량 및 엽수에서 유의한 차이를 나타내었다(표 5). (NH4)2SO4농도에 관계없이, B0:R5:W5는 4가지의 LED 중에서 엽속소 함량을 제외한 초폭, 초장, 엽장, 엽폭, 엽두께 및 엽수가 모든 처리구중에서 높은 값을 나타내었다. B2:R3:W5가 엽록소 함량에 대해 가장 높은 값을 나타내었지만 다른 모든 성장 특성은 3가지 처리구들과의 비교에서는 낮은 값을 나타내었다.

○ 케일의 엽생체중은 LED 처리에 따른 큰 변화가 없었지만 (NH4)2SO4농도에서는 변화가 나타났다(표 5). 또한, S2 및 S3 처리는 B0:R5:W5 아래에서 가장 무거운 엽생체중을 나타냈다. 그림1과 같이, 엽생체중에서 S2-S4 범위의 농도는 S1 보다 더 우수한 경향을 나타내었다. 결과적으로, 엽생체중에서 농도로 인한 케일의 성장은 첫 번째 실험에서 나타난 결과와 유사했다.

○ Xin et al. (2015)는 청색 LED와 결합된 적색 LED가 케일(cv. Lvbao)의 성장에 유리하다고 보고했다. 많은 적색 LED (B1:R8:W0)를 사용하였을 때 육묘의 생체중이 우수하였고, 많은 청색 LED (B3:R6:W0)는 생체중이 가장 낮았다. 그러나 Lee et al. (2016)은 정식 후 6주째에 형광등+B1:R0:W1에 노출된 케일의(Brassica olearacea L. var.

acephala) 엽생체중이 B1:R0:W1, B1:R2:W3에 노출된 케일보다 무거운 것으로 보고되었다. 그들은 형광등의 연속 파장을 향상시켜 케일의 성장을 극대화 할 것을 제안했다. 본 연구의 결과는 적색 파장은 광의 강도에 관계없이 케일의 생산성을 결정하는 주요 성장 인자에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 전체적으로, S2 및 S3 처리는 (NH4)2SO4농도 및 LED의 다른 조합보다 B0:R5:W5에서 생육이 적합한 것으로 나타났다.

$(NH_4)_2SO_4$농도와 LED의 조합에 따른 케일의 글루코시놀레이트 함량 및 유형

○ 케일 잎에서 6개의 주요 글루코시놀레이트가 확인되었다(표 6). 본 연구 결과를 Sun et al. (2011) 및 Qian et al. (2015) 케일 실생묘(정식 후 6일)에서 4 개의 인돌 유형 (글루코브라시신, 4-OH글루코브라시신, 4-methoxy글루코브라시신, 네오글루코브라시신)과 일치하는 4가지 인돌 유형과 지방족 화합물중 2가지(시니그린, 글루코나핀)가 일치하는 것을 확인하였다.

○ 총 글루코시놀레이트에서 각 글루코시놀레이트의 백분율은 시니그린, 글루코브라시신, 글루코나핀, 4-OH글루코브라시신, 4-methoxy글루코브라시신, 그리고 네글루코브라시신의 경우 56-79%, 8-19%, 2-10%, 2-6%, 2-5% 및 1-11%이었다. 시니그린 함량은 전체 글루코시놀레이트중 가장 높은 비율을 차지했으며 글루코브라시신이 2번째로 높은 비율을 차지하였다(그림 2). 이전에는 케일의 실생묘 (cv. DFZC; 정식 후 6일)의 시니그린 함량이 전체 글루코시놀레이트의 15-22%로 보고되었다(Qian et al., 2016). 그러나 현재 연구에서는 케일(정식 후 42일)이 차지하는 비율이 56-79%인 것으로 밝혀졌다. Lee et al. (2016)은 파종 후 약 70 일 후에 수확된 케일 (Brassica oleracea var. acephala L.)의 총 글루코시놀레이트 함량이 B1:R2:W3에서 가장 높았으며, 글루코시놀레이트중에서 글루코브라시신이 가장 높았으며, 글루코이베린 및 시니그린 순이었다. 케일 (정식 후 70일)의 시니그린 함량은 총 글루코시놀레이트의 약 16%인 것으로 보고되었으며, 이전 연구와(Qian et al., 2016) 본 연구(정식후 42일)의 시니그린 차이는 약 100배로 나타났다. 또한, 케일의 시니그린의 절대 함량은 다른 연구에서 42일된 케일이 70일된 케일보다 대략 68배 높았다 (Lee et al. 2016). 따라서 글루코시놀레이트의 함량은 생장 단계 및 케일 품종에 따라 다를 수 있으며, 성장이 진행됨에 따른 글루코시놀레이트의 함량이 감소되는 것으로 추정되었다.

○ LED 처리만을 비교함으로써, B0:R5:W5가 가장 높은 총 글루코시놀레이트 함량이 검출되었으며, 이어서 B0:R1:W9, B0:R1:W12 및 B2:R3:W5 순이었다(표 7). 그러나 (NH4)2SO4농도에 따른 총 글루코시놀레이트에서 유의한 차이가 발견되지 않았다. 더욱이, 총 글루코시놀레이트 함량은 16가지 조합 중에서 유의한 것으로 밝혀졌지만, (NH4)2SO4농도에 따라 6개의 글루코시놀레이트의 함량에서는 유의한 차이가 발견되지 않았다. 글루코브라시신, 글루코나핀 및 4-OH글루코브라시신를 제외하고 시니그린, 4-methoxy글루코브라시신 및 네오글루코브라시신은 LED마다 변화가 나타났다. 그러나 16 가지 조합에서 글루코나핀과 4-OH글루코브라시신를 제외한 4가지 글루코시놀레이트 함량에서 매우 큰 차이가 확인되었다. 시니그린 함량은 S4 및 B0:R5:W5의 조합에서 40.9μmol·100g-1 d.w로 가장 높았으며, S2 및 B0:R5:W5 조합 순이었다(표 7). 케일에서 두 번째로 높은 함량인 글루코브라시신은 7.9μmol·100g-1 d.w의 가장 높은 값을 나타냈으며, S2와 B0:R1:W12의 조합으로 S3과 B2:R3:W5 순이었다. 따라서 시니그린에

대한 최적의 조합은 글루코브라시신과는 다른 LED 조합이 사용되는 것으로 판단되었다.

- ○ Deng et al. (2017)은 케일(cv. DSCH)을 수확 전 1-3 일에 적색 LED로 처리하면 항암물질인 글루코나핀, 글루코브라시신 및 프로고이트린으로 알려진 글루코시놀레이트 함량을 효과적으로 유지할 수 있다고 보고하였다. 케일 지상부에서 시니그린은 파장처리에 따라 반응했으며, 640nm 및 730nm 파장 처리는 시니그린의 함량이 높았지만 다른 파장 처리는 시니그린의 축적에 영향을 미치지 않았다(Lefsrud et al., 2008). 본 실험에서 케일의 높은 글루코시놀레이트 함량에 기초하여, LED에서 적색의 비율이 가장 높은 조합 처리구(B0:R5:W5)가 성장 단계 동안 글루코시놀레이트 함량의 감소를 유지하거나 지연시키는 것으로 추정 하였다.
- ○ 모든 글루코시놀레이트는 2개 이상의 황이 포함된 그룹으로 황의 공급은 글루코시놀레이트 농도에 큰 영향을 미친다. Jóska et al. (2009)는 황의 추가 공급이 없으면 인디언 머스타드 씨앗의 글루코시놀레이트 함량이 감소 할 수 있으며, 황의 부족은 유전적으로 글루코시놀레이트 형성에 불충분한 것으로 추정하였다. 황이 부족할 경우, 질소 공급원은 황의 절대 결핍으로 인해 시니그린의 농도에 영향을 미치지 않았다. 더욱이, 황 공급에서 질소 공급을 증가시키는 것은 백색 겨자(Sinapisabla) 종자의 글루코시놀레이트 농도를 감소시키지 않았다(Josefsson, 1968). 따라서 (NH4)2SO4는 식물의 GSL에 존재하는 질소 및 황 함량에 기초하여 시니그린에 더 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다. 황 공급을 향상 시키면 글루코시놀레이트의 분해가 감소 될 것으로 예상된다. 비록 연구는 (NH4)2SO4처리만으로 모든 GSL 농도에서 통계적 차이를 확인하지는 않았지만, 케일의 노화로 인한 GSL 농도의 감소는 꾸준히 다른 글루코시놀레이트에 비해 시니그린의 감소를 지연시키는 것으로 가정되었다. 결론적으로, S4 및 B0:R5:W5의 조합은 총 글루코시놀레이트 및 케일의 주요 기능 물질 인 시니그린을 증가시키는 데 가장 적합한 것으로 판단된다.

Table 1. Comparison of nutrient solutions among the nutrient solutions (S1-S4) containing four different $(NH_4)_2SO_4$, PBG and Yamazaki (unit : mmol·L^{-1})

Nutrinent Solution[z]	NO_3-N	NH_4-N	PO_4-P	K	Ca	Mg	SO_4-S
S1	12.4	1.0	1.7	6.2	3.1	0.7	0.8
S2	12.4	1.1	1.7	6.2	3.1	0.7	0.9
S3	12.4	1.2	1.7	6.2	3.1	0.7	1.0
S4	12.4	1.4	1.7	6.2	3.1	0.7	1.1
PBG	10.5	0.8	3.0	5.5	2.5	1.0	0.9
Yamazaki	8.0	1.0	3.0	6.0	1.0	0.8	0.8

[z]Nutrient Solution : the nutrient solution supplied by Insung Tec. Co., used in this experiment, and PBG and Yamazaki are comparison groups not used in this experiment.

Table 2. Analysis condition of glucosinolate in chinese kale for sample extraction and purification.

Instrument	LC-20AD (Shimadzu, Japan)
Detector	Variable Wavelength Detector (VWD)
Detector wavelength	229 nm
Column	Phenomenex Luna C18 250 mm L. × 4.6 mm I.D. (5 ㎛ particle size)
Mobile phase	Acetonitrile:water 5/95 (0-2 min) --- 40/60 (25 min) --- 60/40 (30 min)
Flow rate	0.8 mL/min
Injection volume	20 μL
Column temperature	40 °C

Table 3. HPLC condition for glucosinolate analysis of leaves in chinese kale

<LC condition>	
Instrument	Nexera 30 (Shimadzu, Japan)
Column	Halo C_{18}, 2.1 mm I.D. × 150 mm L. (2.7 μm particle size)
Flow rate	0.2 mL/min
Mobile phase	A: Water B: Acetonitrile 5/95 (0-2 min) --- 40/60 (25 min) --- 60/40 (30 min)
Injection volume	1 μL

<Mass condition>	
Instrument	HPLC-MSMS8050 (Shimadzu, Japan)
Ionspray voltage	4000 V
Gas flow rate	Drying: 10 ml/min Nebulizing: 3 ml/min Heating: 10 ml/min
Collision Energy	-15 V
Ion source temperature	400℃
Scan type	positive scan, product scan, neutral loss

Table 4. Growth characteristics of *Brassica oleracea* var. *alboglabra* Bailey cv. Jellujon influenced by $(NH_4)_2SO_4$ at the harvest stage[z]

$(NH_4)_2SO_4$	Plant width (㎜)	Plant height (㎜)	Leaf length (㎜)	Leaf width (㎜)	Leaf thickness (㎜)	SPAD	No. of leaves	Leaves fresh weight (g)
S1	382.1 a[y]	63.6 a	199.8 c	137.7 c	0.27 c	48.5 a	12.1 a	58.4 c
S2	388.6 a	64.1 a	216.9 a	155.0 a	0.31 b	51.4 a	12.7 a	68.3 b
S3	394.5 a	62.0 a	221.1 a	152.6 a	0.33 a	50.6 a	12.7 a	74.1 a
S4	370.8 b	64.2 a	211.9 b	146.6 b	0.31 b	50.0 a	12.2 a	64.9 b
Significant	*	ns	***	***	***	ns	ns	***

zHarvest stage: the 4th week after transplanting.
yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.
ns,***Non-signification or signification at P = 0.05 or 0.001, respectively.

Table 5. Growth characteristics of *Brassica oleracea* var. *alboglabra* Bailey cv. Jellujon influenced by combination of $(NH_4)_2SO_4$ and LED at the harvest stage[z]

LED (μmol·m^2·s^{-1})	$(NH_4)_2SO_4$	Plant width (㎜)	Plant height (㎜)	Leaf length (㎜)	Leaf width (㎜)
B0:R1:W9 (128)	S1	394.5 a[y]	64.6 b	207.6 a	146.9 a
	S2	401.4 a	71.8 a	211.0 a	145.0 a
	S3	390.0 a	71.0 a	208.2 a	144.7 a
	S4	349.1 e	61.4 d	195.7 c	136.6 a
B0:R5:W5 (119)	S1	406.3 a	68.8 a	211.3 a	145.5 a
	S2	401.3 a	67.8 a	214.0 a	148.4 a
	S3	391.8 a	67.0 a	214.0 a	145.7 a
	S4	365.4 d	62.4 c	201.0 a	141.1 a
B2:R3:W5 (128)	S1	380.3 a	60.0 f	197.3 b	137.4 a
	S2	374.5 b	64.7 b	199.3 a	137.4 a
	S3	364.7 d	61.9 d	205.4 a	144.3 a
	S4	349.2 e	54.0 g	191.6 d	134.7 a
B0:R1:W12 (136)	S1	377.2 b	68.4 a	204.7 a	137.4 a
	S2	385.2 a	69.4 a	202.0 a	141.0 a
	S3	368.9 c	67.2 a	203.1 a	141.9 a
	S4	369.1 c	61.0 e	211.0 a	143.9 a
Significant					
$(NH_4)_2SO_4$		***	***	ns	ns
LED		**	***	**	ns
Combination		***	***	**	ns

zHarvest stage: the 4th week after transplanting.
yMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.
ns*,***Non-signification or signification at P = 0.01, and 0.001, respectively.

Table 5. Continued

LED (μmol·m^2·s^{-1})	$(NH_4)_2SO_4$	Leaf thickness (㎜)	No. of leaves (ea)	SPAD	Leaves fresh weight (g)
B0:R1:W9 (128)	S1	0.18 e[y]	13.1 a	50.1 c	52.1 b
	S2	0.30 a	13.1 a	48.9 d	61.6 a
	S3	0.29 a	12.1 b	51.6 b	58.8 a
	S4	0.30 a	12.9 a	50.0 c	54.8 a
B0:R5:W5 (119)	S1	0.25 d	12.1 b	49.0 d	50.8 b
	S2	0.29 a	12.5 a	51.6 b	65.2 a
	S3	0.30 a	13.3 a	50.1 c	64.8 a
	S4	0.30 a	12.5 a	47.6 f	56.4 a
B2:R3:W5 (128)	S1	0.28 a	11.8 d	53.2 a	50.6 b
	S2	0.28 b	11.5 e	55.0 a	57.9 a
	S3	0.31 a	12.9 a	51.7 a	59.1 a
	S4	0.29 a	11.9 d	48.1 e	53.4 b
B0:R1:W12 (136)	S1	0.27 c	11.9 c	51.8 a	52.9 b
	S2	0.28 b	12.2 a	54.2 a	56.4 a
	S3	0.31 a	13.1 a	51.0 b	59.8 a
	S4	0.31 a	12.1 a	46.8 f	60.4 a
Significant					
$(NH_4)_2SO_4$		***	ns	***	***
LED		**	*	*	ns
Combination		***	**	***	*

[z]Harvest stage: the 4th week after transplanting.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

[ns,**,***]Non-signification or signification at P = 0.05, 0.01, and 0.001, respectively.

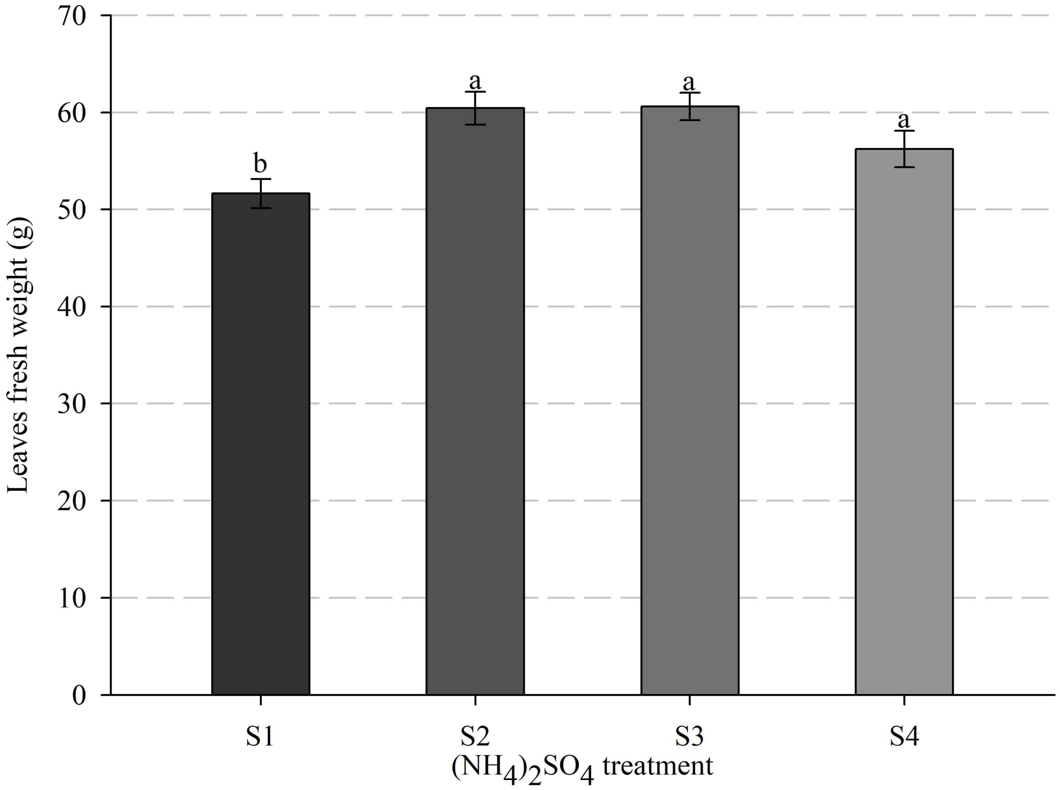


Fig. 1. The leaves fresh weight of *Brassica oleracea* var. *alboglabra* Bailey cv. Jellujon influenced by 4 different $(NH_4)_2SO_4$ treatments and 4 LEDs treatments in the hydroponic culture. Different letters within the same cultivar indicate significant differences at P = 0.05 by Duncan's multiple range test. X-numerics refer to table 1.

Table 6. Identified major glucosinolates (GSL) and molecular weight (Mw) of GSL in leaves of Chinese kale by mass spectrometry

Trivial names	Abbreviation	Chemical Formula	Mw[z] of GSL	Response Factor[y]
Sinigrin	SIN	$C_{10}H_{16}NO_9S_2$	358	1.00
Gluconapin	GNP	$C_{11}H_{18}NO_9S_2$	372	1.11
4-OH glucobrassicin	4HGB	$C_{16}H_{19}N_2O_{10}S_2$	463	0.28
Glucobrassicin	GBS	$C_{16}H_{19}N_2O_9S_2$	447	0.29
4-methoxy glucobrasscin	4MGB	$C_{17}H_{21}N2O_{10}S_2$	477	0.25
Neoglucobrasscin	NGBS	$C_{17}H_{21}N_2O_{10}S_2$	477	0.20

[z]Molecular weight.

[y]Glucosinolate contents were calculated using previously published response factor (ISO, 1992).

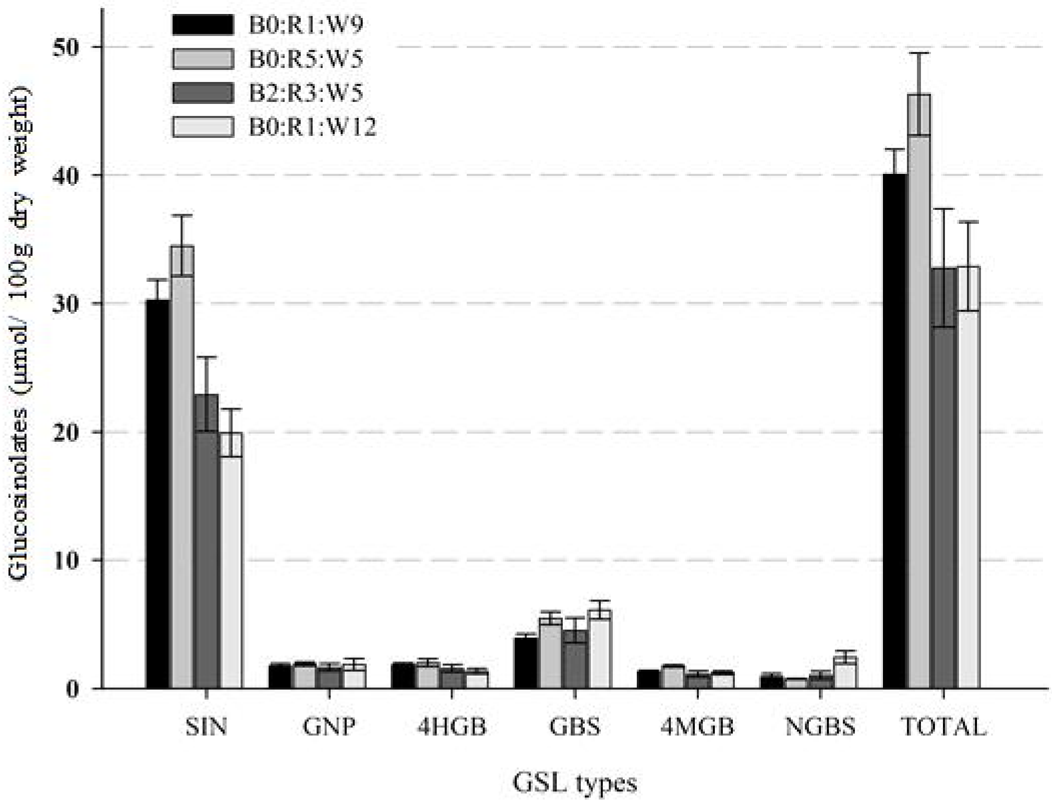


Fig. 2. The contents of seven types of glucosinolates and total glucosinolates in *Brassica oleracea* var. *alboglabra* Bailey cv. Jellujon. B0:R1:W9: 128 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 20W. B2:R3:W5: 119 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 20W. B0:R5:W5: 128 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 20W. B0:R1:W12: 136 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, 24W. X-abbreviation refer to table 6.

Table 7. Variety contents of glucosinolate and total glucosinolate of *Brassica oleracea* var. *alboglabra* Bailey cv. Jellujon influenced by combination of $(NH_4)_2SO_4$ and LED at the harvest stage[z]

LED (μmol·m^2·s^{-1})	$(NH_4)_2SO_4$	Total GSL	Sinigrin		Glucobrassicin	
		μmol·100g^{-1} d.w.	μmol·100g^{-1} d.w.	(%)[x]	μmol·100g^{-1} d.w.	(%)
B0:R1:W9 (128)	S1	40.1 b[y]	30.6 b	(76)	3.1 e	(8)
	S2	34.3 c	25.7 c	(75)	3.5 e	(10)
	S3	42.2 b	31.4 b	(74)	5.2 c	(12)
	S4	43.6 b	33.5 b	(77)	3.9 d	(9)
B0:R5:W5 (119)	S1	31.6 d	23.9 c	(76)	3.0 e	(9)
	S2	50.1 a	37.0 a	(74)	5.9 b	(12)
	S3	44.7 a	33.0 b	(74)	5.6 b	(13)
	S4	54.8 a	40.9 a	(75)	6.9 a	(13)
B2:R3:W5 (128)	S1	19.8 f	15.6 f	(79)	1.5 f	(8)
	S2	25.2 e	17.1 e	(68)	3.3 e	(13)
	S3	49.8 a	33.4 b	(67)	7.8 a	(16)
	S4	36.6 c	25.5 c	(70)	5.7 b	(16)
B0:R1:W12 (136)	S1	39.8 b	22.1 d	(56)	7.3 a	(18)
	S2	41.2 b	24.8 c	(60)	7.9 a	(19)
	S3	18.4 f	12.0 g	(65)	3.1 e	(17)
	S4	32.3 d	20.8 d	(64)	6.1 b	(19)
Significant						
Ammonium sulfate		ns	ns		ns	
LED		*	***		ns	
Combination		***	***		***	

[z]harvest stage: the 4th week after transplanting.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

[ns,*,**,***]Non-signification or signification at P = 0.05, 0.01 or 0.001, respectively.

[x]Absolute and percentage of each glucosinolate contents in total GSL.

Table 7. Continued

LED (μmol·m^2·s^{-1})	$(NH_4)_2SO_4$	Gluconapin		4-OH glucobrassicin		4-methoxy glucobrassicin		Neo glucobrasscin	
		μmol·100g^{-1} d.w.	(%)[x]	μmol·100g^{-1} d.w.	(%)	μmol·100g^{-1} d.w.	(%)	μmol·100g^{-1} d.w.	(%)
B0:R1:W9 (128)	S1	2.0 a[y]	(5)	5 a	(4)	1.0 d	(2)	1.9 d	(5)
	S2	1.4 a	(4)	4 a	(5)	1.3 c	(4)	0.6 e	(2)
	S3	1.6 a	(4)	4 a	(5)	1.4 c	(3)	0.7 e	(2)
	S4	2.0 a	(5)	5 a	(5)	1.6 a	(4)	0.5 e	(1)
B0:R5:W5 (119)	S1	1.8 a	(6)	6 a	(2)	1.5 a	(5)	0.9 e	(3)
	S2	1.9 a	(4)	4 a	(5)	1.9 a	(4)	0.8 e	(2)
	S3	1.7 a	(4)	4 a	(5)	1.5 a	(3)	0.6 e	(1)
	S4	2.1 a	(4)	4 a	(5)	2.0 a	(4)	0.7 e	(1)
B2:R3:W5 (128)	S1	1.5 a	(8)	8 a	(5)	0.3 f	(2)	0.3 f	(2)
	S2	2.4 a	(10)	10 a	(4)	1.0 d	(4)	0.7 e	(3)
	S3	2.4 a	(5)	5 a	(4)	1.4 b	(3)	2.4 e	(5)
	S4	0.8 a	(2)	2 a	(6)	1.8 a	(5)	0.7 c	(2)
B0:R1:W12 (136)	S1	3.4 a	(9)	9 a	(4)	1.1 d	(3)	4.3 a	(11)
	S2	1.8 a	(4)	4 a	(5)	1.7 a	(4)	2.8 b	(7)
	S3	1.1 a	(6)	6 a	(4)	0.7 e	(4)	0.8 e	(4)
	S4	1.2 a	(4)	4 a	(3)	1.4 c	(4)	1.9 d	(6)
Significant									
Ammonium sulfate		ns		ns		**		ns	
LED		ns		ns		*		**	
Combination		ns		ns		***		***	

[z]harvest stage: the 4th week after transplanting.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

[ns,*,**,***]Non-signification or signification at P = 0.05, 0.01 or 0.001, respectively.

[x]Percentage of each glucosinolate contents in total GSL.

다. 식물공장의 식물성장과 환경 상태

- 케일(Brassica oleracea var. alboglabra Bailey cv. Jellujon)은 아시아씨드 코리아(서울, 한국)에서 구매하였다. 본 실험은 식물공장(인성테크, 한국)에서 박막수경재배(NFT)를 사용하여 수행되었다. 식물공장의 환경 조건은 22.5±2.5° C 및 80±5% 상대 습도로 제어되었으며, 광주기는 13/11 시간이었다. 파종 후 2주째에 식물공장의 NFT 베드에 케일을 정식 한 다음, 정식 후 4주에 수확하여 성장 특성을 조사하고 글루코시놀레이트를 분석 하였다.
- 본 실험에 사용된 양액은 표 1에 제시되어있다. S1-S4 처리는 EC 2.0dS·m-1로 고정하였다. 첫 번째 실험의 목적은 성장 특성에 해를 끼치지 않으면서 케일의 글루코시놀레이트 함량을 향상시키기 위해 적절한 범위의 (NH4)2SO4 농도를 구명하는 것이다.
- 첫 번째 실험은 4개의 베이에서 각각 한 가지 유형의 LED (B0:R1:W12, B:R:W 비율 = 0:1:12)를 고정하고 4가지 다른 농도의 (NH4)2SO4 (S1-S4)를 사용하여 수행하였다. 모든 양액은 순환 방식으로 공급되었다. 파종 후 2주에, 블록 당 21개의 묘목을 2개의 블

록으로 심어 농도 처리 당 총 42개의 묘목을 정식하였다. $(NH_4)_2SO_4$ 처리 후 각각의 성장 특성을 조사하기 위해 정식 후 4주에 수확 한 20개의 케일의 지상부를 조사 하였다. 초폭, 초장, 엽수, 엽폭, 엽장, 엽두께, 엽록소 함량 (SPAD), 및 엽생체중을 조사하였으며, 조상항목은 개체 당 3 개의 정상 잎을 선발하여 측정 하였다.

○ 두 번째 실험은 케일의 글루코시놀레이트 함량을 향상시키기 위한 가장 적합한 조합(즉, 4가지의 $(NH_4)_2SO_4$ 농도 (S1-S4) 및 4가지 조합의 LED)을 결정하기 위해 수행되었다. LED (디엠엘이디, 안산, 한국)는 3가지 LED 색상 (B:청색; R:적색; W:백색)으로 구성되어 있으며 다음 4가지 LED 조합을 사용하였다. B0:R1:W9 (128 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 20W), B2:R3:W5 (119 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 20W), B0:R5:W5 (128 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 20W) 및 B0:R1:W12 (136 μmol · m^{-2} · s^{-1}, 24W). 4가지 유형의 LED 조합(B0:R1:W9, B2:R3:W5, B0:R5:W5, B0:R1:W12)과 4가지 농도의 $(NH_4)_2SO_4$를 사용하여 수행되었다. 4개의 다른 $(NH_4)_2SO_4$ 농도를 함유하는 양액을 각각의 4개의 베이에 순환방식으로 공급하고, 4가지의 LED 처리를 베이 당 2개의 블록으로 설치하였다. 파종 후 2주에, 블록 당 21개의 묘목을 2개의 블록으로 심어 조합 처리 당 총 42개의 묘목을 달성 하였다. 정식 후 4주에 각 베이의 중간에 있는 15개체를 수확하고, 조합 당 성장 특성 및 글루코시놀레이트 함량을 조사 하였다. 성장 데이터는 첫 번째 실험에서 설명한 것과 동일하였으며, 처리 당 글루코시놀레이트의 함량을 분석하기 위해, 정식 후 4주째에 케일의 잎을 동결 건조기(일신 바이오베이스, 동두천, 한국)에서 48시간 동안 동결 건조하였다.

라. 글루코시놀레이트 함량 분석을 위한 시료 추출과 정제 기기분석

○ 5mL의 고온 70% MeOH 용액을 200mg의 동결 건조된 샘플에 첨가하고, 10분 동안 80℃에서 가열하여 추출하였다. 추출물은 추가 30분 동안 초음파 처리가 수행되었다. 음이온 교환 (SAX) 카트리지(500mg, 6mL)를 2mL의 70% MeOH로 활성화시켰다. 그 후, 2mL의 추출물을 첨가하였다. 각각의 카트리지를 1mL의 증류수 및 2mL의 아세테이트 완충액 (pH 4)으로 세척 한 후, 1mL의 설파 타제 용액 (0.2mg^{-1}•mL^{-1})을 첨가 하였다. 16 시간 이상 반응시켜 황산염기를 제거하였다. 반응이 완료된 후, HPLC 분석을 위해 탈황된 글루코시놀레이트를 1.5mL의 증류수로 HPLC 바이알에 용리시켰다.

마. 통계분석 방법

○ SAS 9.2 소프트웨어(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)에서 분산분석(ANOVA)을 사용하여 데이터를 평가하고, 평균을 5%의 유의수준으로 Duncan's multiple range test에 의해 비교하였다. 그래픽 결과는 SigmaPlot 10.0 (USA)로 작성하였다.

(2) 활성칼슘(HAC)의 대량 생산을 위한 제조조건 확립

가. 패각원료를 양산 공정 처리한 CaO의 순도분석

○ 대형로 실험에서 사용한 활성칼슘의 제조방법은 천연 패각 원료를 내열 용기에 넣어 내열성 전기로에 넣은 후 전기로에서 700～1,500℃의 온도에서 칼슘 분말을 6～10시간 동안 소성 전기분해하는 단계로, 개발시료의 적정조건을 도출하기 위하여 소성온도/시간, 전기분해 전압/시간 등 4개 조건을 각각 3개로 Matrix하여 시료개발을 위하여 총 3×3×3×3=81회의 시험생산을 소형전기로에서 수행하여 최적의 제조조건 도출하고 이 조건에 의거하여 대형전기로에서 양산조건을 재도출하였으며, 그 결과 소형전기로 및 대형전기로의 경우, 1,350℃이상의 온도에서 10시간 이상을 소성하여야만, 본 연구에서

원하고 있는 CaO 순도 95% 이상의 소재가 만들어 짐. 이 때 사용되어진 내열 전기로는 양쪽에 흑연 전극판이 장착되어 있는 세라믹재 3상 로임.

○ 소성온도 상승 및 소성시간에 따라 비례적으로 CaO의 순도가 높아지나, 1,400℃이상으로 소성온도를 상승시키면, 원료를 담는 고가의 세라믹 도가니의 균열 등의 파손이 발생하여 제조원가가 대단히 상승하기에 본 연구개발에서는 1,400℃를 최고의 소성온도로 설정하였으며, 양산 공정에서는 아래와 같이 이 조건에 맞추어 소성하였음.

<소성시간과 온도에 따른 패각유래 CaO의 순도 분석 : 대형로>

(단위: %)

	6시간	8시간	10시간	12시간
1,100℃	78.1	81.7	82.6	85.4
1,200℃	80.0	85.8	89.5	91.4
1,300℃	88.1	91.2	93.3	92.4
1,350℃	91.4	92.4	95.5	95.9
1,400℃	92.3	92.6	97.9	95.8
1,450℃	94.5	94.0	97.8	98.1
1,500℃	96.4	96.9	98.8	99.0

○ 대형로의 경우, 1,400℃이상의 온도에서 10시간 이상을 소성하여야만, 본 연구에서 원하고 있는 CaO 순도 97.5% 이상의 소재가 만들어 짐

○ 최종적으로 제조된 활성칼슘에서 칼슘 함량이 떨어지는 경우는 불순물이 많이 잔류하여 효능이 저하되기에, 상기조건을 최적의 조건으로 선택함

○ 소성온도가 높아짐에 따라 원료를 담는 고가의 세라믹 도가니의 균열 등의 파손이 발생하여 활성칼슘의 제조원가가 기하급수적으로 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 중요함

○ 900~1,300℃의 범위에서 12시간을 소성한 경우, 활성칼슘이 얻어지는 것보다 탄화되는 원료의 양이 많아짐을 알 수 있었음

○ 1,350℃와 1,400℃에서도 12시간을 소성하였을 때, 순도의 상승은 보이지 않음을 알 수 있었고 이는 경제적인 면이나 품질을 고려할 때, 소성온도와 시간을 소형전기로와 마찬가지로 1,400℃에서 10시간으로 하는 조건으로 Fix함

○ 주요 성능(pH, ORP, CD, 순도, 중금속 함유량 등)을 만족시키는 활성칼슘을 개발하기 위하여, 여러 조건의 소성온도와 시간 및 전기분해 전압과 시간을 인가한 시험생산을 통하여 제조된 활성칼슘들을 회사 기업부설연구소에서 자체로 측정 가능한 pH, ORP, CD를 먼저 측정하여 양산조건을 압축해 나가는 시험을 우선적으로 실시하였음

나. 활성칼슘의 제조 조건에 따른 ORP, 전도도, pH 등 항목

○ 순도, 전도도, pH 등 전기로에서의 소성 공정에 투입한 활성칼슘 용액(1g/물 1L) 시료의 항목별 수치

- 1,100℃이상에서 10시간씩 소성한 패각원료에 한하여, 40,000Volt ~ 70,000Volt의 전압으로 30분간 전기분해 처리함

- 활성칼슘 1 : 1,100℃ 10시간 소성한 패각원료
- 활성칼슘 2 : 1,200℃ 10시간 소성한 패각원료
- 활성칼슘 3 : 1,300℃ 10시간 소성한 패각원료
- 활성칼슘 4 : 1,400℃ 10시간 소성한 패각원료
- 활성칼슘 5 : 1,450℃ 10시간 소성한 패각원료

<대량생산된 활성칼슘-1~활성칼슘-5 시료들의 전기분해 조건확립 : pH>

	활성칼슘-1	활성칼슘-2	활성칼슘-3	활성칼슘-4	활성칼슘-5
40,000 Volt	12.3	12.4	12.4	12.4	11.8
50,000 Volt	12.3	12.4	12.4	12.4	11.8
60,000 Volt	12.3	12.4	12.4	12.4	11.8
70,000 Volt	12.3	12.4	12.4	12.4	11.8

※ 선행연구의 결과에서 가장 효율적인 전기분해 조건인 40,000~70,000 Volt 범위에서 테스트
※ 결과 : 전기분해에 의한 pH의 변화는 거의 인정되지 않음

< 대량생산된 활성칼슘-1~활성칼슘-5 시료들의 전기분해 조건확립 : ORP>

	활성칼슘-1	활성칼슘-2	활성칼슘-3	활성칼슘-4	활성칼슘-5
40,000 Volt	-22	-31	-33	-38	-32
50,000 Volt	-37	-39	-40	-41	-37
60,000 Volt	-44	-44	-43	-42	-39
70,000 Volt	-45	-46	-44	-45	-38

※ 선행연구의 결과에서 가장 효율적인 전기분해 조건인 40,000~70,000 Volt 범위에서 테스트
※ 결과 : 전기분해에 의한 ORP의 변화는 높은 전압을 가할수록 상승하며, 70,000 Volt가 적정함

<대량생산된 활성칼슘-1~활성칼슘-5 시료들의 전기분해 조건확립 : CD>

단위 : mS

	활성칼슘-1	활성칼슘-2	활성칼슘-3	활성칼슘-4	활성칼슘-5
40,000 Volt	1.247	2.775	2.228	2.838	2.247
50,000 Volt	1.456	2.748	2.126	2.999	2.456
60,000 Volt	1.630	3.070	2.840	3.430	2.830

70,000 Volt	1.657	3.109	2.978	3.556	2.857

※ 선행연구의 결과에서 가장 효율적인 전기분해 조건인 40,000~70,000 Volt 범위에서 테스트
※ 결과 : 전기분해에 의한 CD의 변화는 높은 전압을 가할수록 비례 상승하나, 70,000 Volt가 효율적임
※ 소성시간이 길어짐에 의해 CD값은 저하하는 경향을 보임

※ 표에서 나타내는 바와 같이 1,400℃이상에서 10시간 이상을 소성하여 70,000Volt의 전압을 가하여 제조조건 활성칼슘-4의 원료를 물에 용해했을 때의 경우가 가장 효율적으로 생산할 수 있는 바람직한 조건임

<각 조건의 활성칼슘의 비교항목 조사 : 대형로>

소성온도	CaO의 순도 (%)	전도도 (Conductivity, mS)	pH (1g/Liter수용액)	수율 (%)
1,100℃	82.6	838	11.3	61
1,200℃	89.5	1.542	11.7	72
1,300℃	93.3	2.876	12.0	85
1,350℃	95.5	3.218	12.4	93
1,400℃	97.9	3.120	12.5	91
1,450℃	97.8	3.054	12.6	91
1,500℃	98.8	3.115	12.6	90

- 활성칼슘 분말을 70,000Volt에서 30분간 동안 전기분해하여, 전기분해한 분말 1g을 1리터의 순수에 용해
- 수율은 원료 투입중량 대비 50%의 가득률을 100%로 보았을 때의 비율
- 표에서 나타내는 바와 같이 1,400℃에서 10시간 소성하여 제조된 활성칼슘의 원료를 물에 용해했을 때의 경우가 가장 효율적으로 생산할 수 있는 바람직한 조건임

다. 활성칼슘의 안전성 검토 및 제조상 장해요인과 문제점 해결(순도, 중금속, 이물검사)

검사항목	기준	분석 결과치	단위
함량	95.0이상 100.5이하	98.6/98.3	%
강열감량	10.0이하	7.7/6.8	%
알칼리 또는 마그네슘	1.5이하	2.0/2.8	%
산불용물	1.0이하	0.4/0.3	%
비소	4이하	적합	ppm
바륨	0.03이하	적합	%
납	2.0이하	불검출	ppm
이물(3회 실험)	10.0mg/kg 미만	적합	적합

시험 · 검사성적서

발행번호	R20180220-0007	접수번호	180100144-001
검사완료일	2018-02-20	접수연월일	2018-01-25
제품명	액티칼FOS(ACTICAL FOS)		
(품목)제조번호	20180124A	품목제조신고번호	200303646396
유형 · 재질 · 품목명	산화칼슘		
제조(수입)일	2018-01-24	유통(품질유지)기한	2021-01-23
의뢰자 성명	구자준	업체명	에코바이오텍(주)
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 팩스번호: 전자우편:		
제조원 업체명	에코바이오텍(주)	제조국	
제조원 소재지	경기도 화성시 삼천병마로 518-26		
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사		

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
함량(%)	95.0~100.5	98.6	적합	
확인시험	적합	적합	적합	
산불용물(%)	1.0이하	0.4	적합	
알칼리 또는 마그네슘(%)	3.6이하	2.0	적합	
비소(ppm)	4.0 이하(삼산화이비소로서)	0.5	적합	
바륨(%)	0.03이하	0.03이하	적합	
납(ppm)	2.0이하	불검출	적합	
강열감량(%)	10.0이하	7.7	적합	

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다.

시험확인필 진본 2018-09-13 08:58:21 KST 정부시험확인센터

시험 · 검사성적서

법 제6조제4항에 따른 총리령으로 정하는 시험 · 검사기관

발행번호	R20180912-0189	접수번호	180102391-002
검사완료일	2018-09-12	접수연월일	2018-08-21
제품명	산화칼슘		
(품목)제조번호	180814C	품목제조신고번호	200303646398
유형 · 재질 · 품목명	산화칼슘,산화칼슘		
제조(수입)일	2018-08-14	유통(품질유지)기한	2021-08-13
의뢰자 성명	구자준	업체명	에코바이오텍(주)
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 031 - 353 - 9958 팩스번호: 031 - 629 - 6935 전자우편:		
제조원 업체명	에코바이오텍(주)	제조국	
제조원 소재지	경기도 화성시 삼천병마로 518-26		
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사		

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
순도시험	적합	적합	적합	
비소(ppm)	4.0 이하(삼산화이비소로서)	불검출	적합	
납(ppm)	2.0 이하	불검출	적합	
바륨(%)	0.03 이하	0.03이하	적합	
산불용물(%)	1.0 이하	0.3	적합	
알칼리 또는 마그네슘(%)	3.6 이하	2.8	적합	
함량(%)	95.0 ~ 100.5	98.3	적합	
확인시험	적합	적합	적합	
강열감량(%)	10.0 이하	6.8	적합	

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다.

한국식품과학연구원 Korea Advanced Food Research Institute

문서확인번호 : PVPS-9CTH-W5UB-2MGI

시험 · 검사성적서

발행번호	R20180131-0099		접수번호	180101459-001
검사완료일	2018-01-31		접수연월일	2018-01-25
제품명	고활성 칼슘(High Activated Calcium)			
(품목)제조번호			품목제조신고번호	2004036419911
유형 · 재질 · 품목명	기타가공품			
제조(수입)일	2018-01-22		유통(품질유지)기한	2021-01-21
의뢰자 성명	구자준		업체명	에코바이오텍주식회사
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 팩스번호: 전자우편:			
제조원 업체명			제조국	
제조원 소재지				
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사			

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
이물	이물 : 적합, 금속성이물 : 식품 중 10.0 mg/kg미만, 크기 2.0 mm미만	이물 : 불검출, 금속성이물 : 불검출	적합	

종합판정 : 적합

시험검사원 : 신희준

시험검사책임자 : 김희재, 조성은, 최영내

비고 :

※ 위 판정은 의뢰된 시험 · 검사 항목만을 대상으로 한 것입니다.
※ 지면이 부족한 경우 시험 · 검사 항목 및 결과란은 별지로 작성 가능합니다.
※ 검사결과를 광고하거나 용기 · 포장 등에 표시할 때에는 시험 · 검사성적서 전체 내용을 모두 표시하여야 합니다.

「식품 · 의약품분야 시험 · 검사 등에 관한 법률」제11조제2항 및 같은 법 시행규칙 제12조제4항제1호에 따라 위와 같이 시험 · 검사성적서를 발급합니다.

2018년01월31일

한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원 (인)

16001 경기도 의왕시 봇들로 50 (포일동,한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원) T:02-3470-8212 F:02-3471-3492

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다. http://lims.mfds.go.kr Page 1 of 1

한국식품과학연구원
Korea Advanced Food Research Institute

문서확인번호 : URHS-URQD-GJYH-B6TP

시 정 확 인 필 진본 2018-05-04 18:09:14 KST 정부시점확인센터

시험 · 검사성적서

식품의약품안전처 지정번호 : 식품 제001호

발행번호	R20180504-0145	접수번호	180107482-001
검사완료일	2018-05-04	접수연월일	2018-04-24
제품명	고활성 칼슘(High Activated Calcium)		
(품목)제조번호	20180420HAC	품목제조신고번호	2004036419911
유형 · 재질 · 품목명	기타가공품		
제조(수입)일	2018-04-20	유통(품질유지)기한	2021-04-19
의뢰자 성명	구자준	업체명	에코바이오텍주식회사
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 팩스번호: 전자우편:		
제조원 업체명		제조국	
제조원 소재지			
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사		

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
이물	이물 : 적합, 금속성이물 : 식품 중 10.0 mg/kg미만, 크기 2.0 mm미만	이물 : 불검출, 금속성이물 : 불검출	적합	

종합판정 : 적합

시험검사원 : 신희준

시험검사책임자 : 김희재, 조성은, 최영내

비고 :

※ 위 판정은 의뢰된 시험 · 검사 항목만을 대상으로 한 것입니다.
※ 지면이 부족한 경우 시험 · 검사 항목 및 결과란은 별지로 작성 가능합니다.
※ 검사결과를 광고하거나 용기 · 포장 등에 표시할 때에는 시험 · 검사성적서 전체 내용을 모두 표시하여야 합니다.

「식품 · 의약품분야 시험 · 검사 등에 관한 법률」제11조제2항 및 같은 법 시행규칙 제12조제4항제1호에 따라 위와 같이 시험 · 검사성적서를 발급합니다.

2018년05월04일

한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원 (인)

16001 경기도 의왕시 봇들로 50 (포일동,한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원) T:02-3470-8212 F:02-3471-3492

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다. http://lims.mfds.go.kr Page 1 of 1

문서확인번호 : O6HZ-BBVH-BZPX-AWCN

한국식품과학연구원
Korea Advanced Food Research Institute

시험 · 검사성적서

식품의약품안전처 지정번호 : 식품 제001호

발행번호	R20180731-0033	접수번호	180113561-001
검사완료일	2018-07-31	접수연월일	2018-07-23
제품명	고활성 칼슘(High Activated Calcium)		
(품목)제조번호	20180720HAC	품목제조신고번호	2004036419911
유형 · 재질 · 품목명	기타가공품		
제조(수입)일	2018-07-20	유통(품질유지)기한	2021-07-19
의뢰자 성명	구자준	업체명	에코바이오텍주식회사
의뢰자 소재지	(18533)경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26 전화번호: 팩스번호: 전자우편:		
제조원 업체명		제조국	
제조원 소재지			
시험 · 검사목적	식품 | 자가품질위탁검사		

시험 · 검사 항목 및 결과

시험 · 검사 항목	시험 · 검사 기준	시험 · 검사 결과	판정	비고
이물	이물 : 적합, 금속성이물 : 식품 중 10.0 mg/kg미만, 크기 2.0 mm미만	이물 : 불검출, 금속성이물 : 불검출	적합	

종합판정 : 적합

시험검사원 : 신희준 시험검사책임자 : 김희재, 이동석, 장문익

비고 :

※ 위 판정은 의뢰된 시험 · 검사 항목만을 대상으로 한 것입니다.
※ 지면이 부족한 경우 시험 · 검사 항목 및 결과란은 별지로 작성 가능합니다.
※ 검사결과를 광고하거나 용기 · 포장 등에 표시할 때에는 시험 · 검사성적서 전체 내용을 모두 표시하여야 합니다.

「식품 · 의약품분야 시험 · 검사 등에 관한 법률」제11조제2항 및 같은 법 시행규칙 제12조제4항제1호에 따라 위와 같이 시험 · 검사성적서를 발급합니다.

2018년07월31일

한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원 (인)

16001 경기도 의왕시 봇들로 50 (포일동,한국식품산업협회 부설 한국식품과학연구원) T:02-3470-8212 F:02-3471-3492

※ 본 증명서는 인터넷으로 발급되었으며, 발급번호를 통하여 위변조 여부를 확인할 수 있습니다.
또한, 문서하단의 바코드로도 진위확인(스캐너용 문서확인프로그램)을 하실 수 있습니다. http://lims.mfds.go.kr Page 1 of 1

라. 복합 활성미네랄(AMG)의 대량 생산을 위한 제조조건 확립

○ 제조공정

- 풍화된 화강암 미분말을 상온의 상태에서 추출조에 투입 : 충청남도 광천에서 채취한 원석인 화강암 괴석(성분 분석치 및 함량(%) : Li2O: 0.01, Na2O: 1.92, MgO: 12.5, Al2O3: 9.46, SiO2: 49.4, P2O5: 0.40, K2O: 2.05, CaO: 10.4, TiO2: 1.30, MnO2: 0.17, NiO: 0.09, Fe2O3: 8.09, CuO: 0.03, V2O5: 0.01, ZnO2: 0.02, SrO: 0.04, ZrO2: 0.01, La2O3: 0.01, Co2O3: 0.01, Nd2O5: 0.03 (습식기기 분석에 의함).
- 암모니아 수용액을 가하여 교반 : 20kg의 20% NH4OH를 가한 다음 추출조의 덮개를 덮고 모터를 40~50rpm으로 작동시켜 상온에서 15분간 교반.(암모니아 첨가이유 : 암모니아는 전자쌍을 받아들일 수 있는 분자이며 더불어 배위 공유결합을 이루는 능력과 이온—쌍극자 결합(ion-dipole bond)을 이루는 능력이 있어, 무기금속이온이 풍화화강암으로부터 해리될 때 착염 및 착이온의 리간드(ligand)인 NH3, H2O, OH^-과 착이온을 형성할 수 있도록 원료분말을 전 처리하기 위함).
- 묽은 황산 수용액을 가함 : 덮개를 열어 상기 교반 처리된 혼합물에 120kg의 25% 황산 수용액을 가함.
- 80℃ 미만에서 98% 에틸 알콜(C2H5OH)을 첨가 : 가열 자켓의 온도를 80℃ 미만으로 조절하여 6.5kg의 에틸 알콜(98%)을 가하고, 추출조의 덮개를 다시 덮어 완전히 밀폐시킴.
- 추출조의 압력을 3kg/㎠로 높여 착염 형성이 쉽게 이루어지도록 함 : 모터를 작동시켜 40~50rpm의 회전 속도로 교반하면서 가열 자켓의 온도를 조절하여 85℃로 승온함.
- 상기 압력을 유지한 채 85℃에서 60분간 교반 : 압력계를 조절하여 압력이 3kg/㎠로 유지된 상태로 60분간 계속 교반하여 반응시킴.
- 복합 활성미네랄 용액 생성
  - 원료 입자의 크기 : 화강암의 미분말은 평균 입도가 90~100 Mesh 범위 내에 있는 원료
  - 사용 원료의 Spec : 암모니아 수용액(농도가 약 20%), 황산(활성이 높은 25%의 농도)
  - 상기 시험 시료제조에 의한 반응식

    1) 반응식 1 : $2NH_4OH \rightarrow NH_3 + NH_4^+ + H_2O + 2OH^- + H^+$

    2) 반응식 2 : $4MO + 4NH_4OH \Leftrightarrow 2M(OH)_2 + M_2(NH_4)_4(OH)_4$ (M은 2가 무기금속 이온임)
- 상기의 반응식에서 암모니아수에 의한 처리는 무기금속 이온이 원료 중에 존재할 수 있는 센 장의 리간드 (strong filed ligand), 즉 Co, CN , NO2 등과 결합하는 것을 방지하기 위하여 필요하며, 센 장의 리간드와 결합하여 형성되는 무기금속 착염은 매우 안정하여 반응성이 매우 낮기 때문에 촉매제로서의 역할은 기대하기 힘듦.
- 따라서, 본 기술개발의 시험시료 제조에 있어서는 무기 금속이온이 약한 장의 리간드 (weak field ligand)인 H2O, NH3, OH- 및 SO4 등과의 착염 형태로 포획되도록 처리함
- 황산이 가해지면 금속 이온은 정염(正鹽), 산성염 또는 염기성염 형태의 일반적인 황산염 이외에, 암모니아 이온과 더불어 배위 화합물 생성 이론에 비추어 다음 화학 분자식들로 나타낼 수 있는 여러 형태의 착염을 형성하는 것으로 추론되어지나, 본 기술개발에 있어서는 어떤 염의 형태로 존재하는지는 중요하지 않음.

  3) 반응식 3 : 황산에 의한 반응식

- Mam[Mbn(SO3)x(SO4)y]z
- Mam[(SO3)x(SO4)y]z
- [Mam(SO3)x](SO4)yMbn(SO4)y
- Mam[Mbn(NH3)x(SO4)y]z
- Mam[(NH3)x(SO4)]z
- Mam[Mbn(H2O)x(SO4)y]z
- Mam[(SO3)x(NH3)y]SO4

등과 같이 나타내어지며, 여기에서 Ma : 무기금속(착) 이온, m : Ma 무기금속 이온 수, Mb : 다른 무기금속 이온, n : Mb금속 이온 수, x,y : 리간드 또는 착이온 수, z : (자유)음이온 수상기 착염에 해당하는 것들로서 이들 중 중요한 것으로서는 다음과 같은 것들을 들 수 있음.

- Al2[Fe(SO3)4(SO4)2]2
- Fe2[(SO3)4(SO4)2]2
- Al2[(SO3)4(SO4)]3
- Al2(SO4)3
- Al2[(Fe(NH3)4(SO4)2]2
- Fe2[(NH3)4(SO4)2]2
- Mg[((Fe(H2O)4(SO4)2]2
- Fe[(SO4)2(NH3)4]SO4

등이 있으며, 상기 착염들은 원자흡광 광도법(AA), ICP 분광도법(Inductively Coupled Plasma Spectro-photometry) 등으로 쉽게 분석할 수 있을 것이며, 황산이온 등의 음이온들도 이온 크로마토그라피법으로 분석할 예정임.

○ 대량생산 조건에 따른 미네랄 함량

- 추출조의 압력과 가압시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석
  - AMG 대량 생산의 경우, 추출조 3㎏/㎠의 압력에서 160분 이상을 가압해야만, 본 기술개발에서 요구되는 총 미네랄 함량 1.7% 이상의 소재가 만들어 짐
  - 착염 형성이 쉽게 이루어지도록 하는 추출조의 최적의 압력 : 3㎏/㎠
  - 가압 시간이 160분을 초과할 경우에도 AMG의 총 미네랄 함량이 1.7% 이상이 되나 가압시간이 길어질수록 제조시간과 제조원가가 상승하게 되어 소량생산의 경우와 마찬가지로 대량생산에서도 160분을 가압시간으로 설정하였음

[추출조의 압력과 가압시간에 따른 AMG 미네랄 함량 분석 : 대량생산]

(단위: %)

	100분	130분	160분	190분
2kg/㎠	0.7	0.7	0.8	0.8
2.2kg/㎠	0.8	0.8	0.9	0.9
2.4kg/㎠	0.9	0.9	1.0	1.0
2.6kg/㎠	1.0	1.2	1.3	1.3
2.8kg/㎠	1.1	1.2	1.5	1.5
3.0kg/㎠	1.1	1.3	1.9	1.8

※ 본 실험은 위탁제조기관 시설에서 주관기관이 수행하였으며 각 조건에 도달하였을 때 시료를 채취하여 총 미네랄 농도를 굴절계로 측정하였고, 추출조의 온도는 85℃로 교반속도/교반시간은 각각 50rpm/15분으로 Fix해 둠

※ 가압시간 연장과 추출조의 압력 상승에 따라 AMG 제조원가가 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 아주 중요함

※ 160분 이상을 압력을 가할 경우 순도의 차이는 크게 보이지 않았으며 이는 경제적인 면이나 품질을 고려할 때, 가압시간과 추출조의 압력을 3.0kg/㎠에서 160분간 압력을 가하는 조건으로 Fix함

※ 조건 별로 3회 이상 반복 실험을 수행한 결과 대량 생산 공정의 경우도 소량 생산의 경우와 같은 조건에서 가장 높은 미네랄 함량이 측정되었음

○ AMG 교반시간과 교반속도에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석

- AMS 대량 생산의 경우, 암모니아 수용액을 가한 다음 추출조의 덮개를 덮고 모터를 50rpm 이상으로 작동시켜 상온에서 15분 이상 교반하여야, 본 기술개발에서 요구되는 총 미네랄 함량 1.7% 이상의 소재가 만들어 짐

[AMG 교반시간과 교반속도에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석 : 대량생산]

(단위: %)

	10분	12분 30초	15분	17분 30초
40rpm	1.1	1.3	1.4	1.5
45rpm	1.1	1.5	1.6	1.5
50rpm	1.2	1.5	1.8	1.7
55rpm	1.3	1.6	1.8	1.8

※ 본 실험은 위탁제조기관에서 수행하였으며 각 조건에 도달하였을 때 시료를 채취하여 총 미네랄 농도를 굴절계로 측정하였고, 추출조의 온도는 85℃로 가압압력/가압시간은 각각 3kg/㎠ 및 160분으로 Fix해 둠

※ 교반시간 연장과 교반속도 상승에 따라 기계 감가상각 및 인건비 등에 의하여 AMS 제조원가가 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 중요함

※ 경제적인 면과 품질을 고려했을 때 50rpm에서 15분간 교반하는 것으로 Fix함

○ 반응온도와 반응시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석

- 위탁제조기관 실험실에서 수행한 AMG 대량생산의 경우, 추출조 3kg/㎠의 압력(Fix)을 유지한 상태로 85℃의 온도에서 160분 이상을 반응시켜야만, 본 기술개발에서 요구되는 총 미네랄 함량 1.7% 이상의 소재가 만들어 짐

- 착염 형성이 쉽게 이루어지도록 하는 추출조의 최적의 압력 : 3kg/㎠

- 가압 시간이 160분을 초과할 경우에도 AMG의 총 미네랄 함량이 1.7% 이상이 되나 압력을 유지하는 시간이 길어질수록 제조원가가 상승하게 되어 본 기술개발에서는 160분을 반응시간으로 설정하였음

[반응온도와 반응시간에 따른 AMG의 총 미네랄 함량 분석 : 대량생산]

(단위: %)

	120분	140분	160분	180분
70℃	0.9	1.0	1.2	1.3
75℃	1.1	1.2	1.3	1.4
80℃	1.2	1.3	1.5	1.6
85℃	1.3	1.6	1.8	1.8
90℃	1.3	1.5	1.6	1.7

※ 본 실험은 위탁제조기관 시설에서 주관기관이 수행하였으며 각 조건에 도달하였을 때 시료를 채취하여 총 미네랄 농도를 굴절계로 측정하였고, 추출조의 가압압력은 3㎏/㎠로 교반속도/교반시간은 각각 50rpm/15분으로 Fix해 둠

※ 반응시간과 추출조의 압력을 유지하는 온도 상승에 따라 기계 감가상각 및 인건비 등에 의하여 AMG의 제조원가가 상승하므로, 적정한 조건을 찾아나가는 것이 중요함

○ 압력, 온도, 시간 변화에 따른 미네랄 시료별(AMG 1-AMG 5) pH, Conductivity, DO, ORP(주관기관 자체 측정값)

[각 시료 제조 시의 압력 및 반응온도와 반응시간에 대한 조건 : 대량생산]

항목 \ 샘플	AMG-1	AMG-2	AMG-3	AMG-4	AMG-5
압력(㎏/cm^2)	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0
반응온도(℃)	70	75	80	80	85
반응시간(분)	120	130	140	150	160

※ AMS 제조 시 추출공정에서 상기 3조건에 변화를 줘서 대량 생산공정을 개발한 결과 압력과 온도는 반응기의 반응안전성 및 에너지 과소비 등을 고려하여 (AMG-5) 제조조건을 최대한으로 정해두고 반응시간을 조정하여 제조된 물질을 검토하기로 결정하였음

[각 시료별 분석항목 성적 : 주관기관 측정]

	pH	CD (sm/cm)	DO (㎎/L)	ORP (±mv)	굴절계 (총 염도%)
AMG-1	0.93	71.9	>20	499	8
AMG-2	0.82	82.1	>20	525	11
AMG-3	0.70	>100	>20	523	14
AMG-4	0.52	>100	>20	539	18
AMG-5	0.47	>100	>20	551	25

※ 각각의 시료를 총 10회 이상 측정한 평균값으로 각 시료의 농도를 계산함

※ AMG 원액(즉 1.7% 이상 함량)의 QC 기준은 소량 생산 때와 마찬가지로 pH 값 0.51 이하, CD 100 이상, DO 20 이상, ORP 530 이상으로 하고 굴절계 총 염도 측정치 기준을 19 이상으로 결정함

※ <참조사항> 상기 CD값과 DO값에 “ > ” 표기는 주관기관이 보유하고 있는 측정기기(제조회사 QC용)의 최대 측정 Range를 크게 벗어나서 더 이상 측정할 수 없는 값

○ 대량 생산에서 제조된 AMG의 각종 미네랄 함량을 국가공인 분석기관에서 평가하여 시제품의 품질균일성 확보

- 각종 미네랄 함량

• 분석기관 : 피켐코리아(AMG 1~AMG 4), 한국고분자연구소(AMG 5)

[표 11 : 각 시료별 분석항목 성적 : 공인분석기관 측정]

Element	함 량(mg/kg)				
	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4	sample 5
	분석기관 : 피켐코리아				한국고분자 시험연구소
Al	964.48	2,907.12	3,018.94	3,942.50	8,044.4
Ba	0.08	0.05	0.06	0.06	0.1
Ca	60.90	2,286.81	110.55	144.75	165.6
Co	2.59	4.15	5.10	6.30	1.4
Cu	ND	ND	ND	2.43	6.0
Fe	3,413.83	6,519.47	7,288.50	8,905.76	12,696.5
Ge	ND	ND	ND	ND	0.1
K	266.88	486.61	598.25	783.71	1,240.2
Li	1.66	2.98	3.48	4.37	2.7
Mg	1,069.90	3,315.95	3,469.21	4,443.45	7,656.7
Mn	47.15	75.94	93.40	117.84	133.3
Mo	ND	ND	ND	ND	0.1
Na	24.42	55.39	49.81	63.59	53.5
Ni	4.81	8.13	9.69	12.20	6.9
P	ND	ND	ND	ND	59.6
Rb	0.15	0.25	0.33	0.09	1.8
Se	ND	ND	ND	ND	0.1
Si	ND	ND	ND	ND	11.4
Ti	269.83	437.04	547.78	689.08	767.5
V	9.46	14.75	16.35	20.76	16.4
W	ND	ND	ND	ND	0.1
Zn	8.27	87.31	16.98	22.29	18.8
계	6,136.14	16,114.64	15,211.45	19,136.89	30,864.4

※ sample 1 : 6,136.14mg/kg(0.613%)
※ sample 2 : 16,114.64mg/kg(1.611%)
※ sample 3 : 15,211.45mg/kg(1.521%)
※ sample 4 : 19,136.89mg/kg(1.913%)
※ sample 5 : 30,864.4mg/kg(3.086%)

※ 분석 결과, 원료별 함량은 sample 1의 경우 6,136.14mg/kg(0.613%), sample 2의 경우 16,114.64mg/kg(1.611%), sample 3의 경우 15,211.45mg/kg(1.521%), sample 4의 경우 19,136.89mg/kg(1.913%)로 나타났음

※ 미네랄 대량제조에는 생산시설 및 공간 확보 등 많은 금액이 소요되기에 기술개발 기간 중에는 OEM생산으로 진행하였으며, 마케팅이 활성화되는 시점에 자체설비를 구축할 예정임

[sample 5의 원소별 함유량 : 분석성적서 요약]

(mg/Liter=ppm)

분석항목(원소기호)	분석결과	분석항목(원소기호)	분석결과
철(Fe)	12,696.5	니켈(Ni)	6.9
알루미늄(A1)	8,044.4	구리(Cu)	6.0
마그네슘(Mg)	7,656.7	붕소(B)	5.4
칼륨(K)	1,240.5	리튬(Li)	2.7
타이타늄(Ti)	767.5	갈륨(Ga)	2.5
칼슘(Ca)	165.5	스칸듐(Sc)	1.7
망간(Mn)	133.3	코발트(Co)	1.4
니오븀(Nb)	92.9	스트론튬(Sr)	1.2
인(P)	59.6	인듐(In)	0.6
나트륨(Na)	53.5	류비늄(Rb)	1.8
아연(Zn)	18.8	안티몬(Sb)	0.3
바나듐(V)	16.4	탄탈(Ta)	0.8
크로뮴(Cr)	15.3	이트륨(Y)	0.6
규소(Si)	11.4	Tl, Sn, Re, Be 등	<0.1로 불검출

◆ 분석방법 : 유도결합플라즈마분광계(ICP: Inductively Coupled Plasma Spectrometer)
(분석기기 : Agilent Technologies사 720 ICP-OES, 검출기 : VistaChip Ⅱ CCD 검출기, 검출한계 : 0.1ppm)

◆ 분석원소 : Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, In, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Re, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Ti, Tl, V, W, Y, Zn, Zr

○ 활성칼슘(HAC)과 복합활성미네랄(AMG)의 복합물 연구

- 복합물 개발 및 배합비율 개발

<시험 시료 개발결과 1>

HAC 10g 용액	AMG 4% 용액	pH	비고
500cc	500cc	9.9	침전이 아주 많음
330cc	670cc	3.7	1/2 침전
250cc	750cc	2.7	1/5 침전
100cc	900cc	2.4	1/10 침전
50cc	950cc	2.1	침전이 거의 없음

※ 전체 시료 양을 각각 1L씩 제조할 때, 투입한 원료의 양

※ HAC : CaO 함량 98.5% 이상의 이온화된 소성칼슘 분말

※ AMG : 풍화화강암 유래로 20종 이상의 미네랄들이 함유된 액상 활성미네랄

<시험 시료 개발결과 2>

HAC 분말	AMG 4% 용액	정제수	pH	비고(침전된 칼슘 양)
1g	500cc	500cc	2.4	920mg
0.7g	500cc	500cc	2.2	580mg
0.5g	500cc	500cc	2.1	285mg
0.3g	500cc	500cc	1.8	0
0.1g	500cc	500cc	1.3	0

※ 전체 시료 양을 각각 1L씩 제조할 때, 투입한 원료의 양

※ HAC : CaO 함량 98.5% 이상의 이온화된 소성칼슘 분말
※ AMG : 풍화화강암 유래로 20종 이상의 미네랄들이 함유된 액상 활성미네랄

<시험 시료 개발결과 3>

HAC 10g 용액	AMG 4% 용액	pH	침전물 비율(%)
500cc	500cc	9.9	75%
330cc	670cc	3.7	55%
250cc	750cc	2.7	34%
100cc	900cc	2.4	28%
50cc	950cc	2.1	5%

※ 전체 시료 양을 각각 1L씩 제조할 때, 투입한 원료의 양
※ HAC 용액 : CaO 함량 98.5% 이상의 이온화된 소성칼슘 분말
※ AMG : 풍화화강암 유래로 20종 이상의 미네랄들이 함유된 액상 활성미네랄

<시험 시료 개발결과 4>

HAC 분말	AMG 4% 용액	정제수	pH	비고(침전된 칼슘 등)
1g	500cc	500cc	2.4	930mg
0.7g	500cc	500cc	2.2	600mg
0.5g	500cc	500cc	2.1	305mg
0.3g	500cc	500cc	2.0	50mg
0.2g	500cc	500cc	1.8	0mg
0.1g	500cc	500cc	1.3	0mg

※ 전체 시료 양을 각각 1L씩 제조할 때, 투입한 원료의 양
※ HAC : CaO 함량 98.5% 이상의 이온화된 소성칼슘 분말
※ AMG : 풍화화강암 유래로 20종 이상의 미네랄들이 함유된 액상 활성미네랄

<시험 시료 개발결과 5>

HAC 용액 투입량	AMG 4% 용액 투입량	pH	칼슘 등 침전된 이온의 총량
900cc	100cc	10.2	420mg
800cc	200cc	7.8	325mg
700cc	300cc	2.5	126mg
600cc	400cc	2.1	45mg
520cc	480cc	1.8	0mg

※ 전체 시료 양을 각각 1L씩 제조할 때, 투입한 원료의 양
※ HAC 용액 : CaO 함량 98.5% 이상의 이온화된 소성칼슘 분말 2g을 1Liter의 순수수에 용해 후 60rpm으로 1시간 교반 후 마이크로 필터기에서 3회 Filtering한 용액(칼슘이온 1,200ppm 함량)
※ AMG : 풍화화강암 유래로 20종 이상의 미네랄들이 함유된 액상 활성미네랄

○ 복합물의 원료배합 비율 확정

- 상기의 제조시험 결과, 작물이 칼슘과 미량 미네랄의 흡수율을 극대화하기 위하여, 작

물이 흡수하기 어렵고 약해발생 가능성이 있는 분말침전을 발생시키지 않는 범위에서 HAC 및 AMG를 가장 많은 양을 투입하면서 각 재료의 투입량을 선정

- 시험시료 제조 : 물 500cc에 HAC 분말 0.3g을 투입하여 잘 교반한 후 AMG 4%용액 500cc와 서서히 혼합하여 교반기로 교반 후 마이크로 필터로 Filtering

○ HAC와 AMG를 함유하는 양액 개발 시제품의 현장 적용 실험(케일)

- 정식작업(9월 5일 파종 후 15일 째)

☞정식 前 케일 모판	☞정식 작업 중 - 1	☞정식 작업 중 - 2

▶A군 - 일반양액 + 개발제제 500배액	▶B군 - 일반양액 + 개발제제 1,000배액	▶C군 - 일반양액 + 개발제제 2,000배액	▶D군 - 대 조 구

- EC와 pH 값 측정

	A 군	B 군	C 군	D 군
EC 값(㎛/cm)	2,246	2,098	2,160	2,150
개발제제 배액 준비	400ml	200ml	100ml	x
pH 값	5.55	6.03	6.09	6.07
Pot 수	73	76	71	72

○ 정식 후 12일 째(18. 10. 05)

▶A군 양액 : (기존양액 + 개발제제 500배액)	A군 : 케일상태 = 정식 후 12일째
▶B군 양액 : (기존양액 + 개발제제 1,000배액)	B군 : 케일상태 = 정식 후 12일째
▶C군 양액 : (기존양액 + 개발제제 2,000배액)	C군 : 케일상태 = 정식 후 12일째
▶D군 양액 : (기존양액)	D군 : 케일상태 = 정식 후 12일째

※ D군에서 케일 모종에 양액이 흡수되지 않아 말라 죽음

D군 中열에서 2칸째 2pot가 죽음	D군 中열에서 3칸째 2pot가 죽음

○ 정식 후 18일 째(18. 10. 11)

▶A군 양액 : (기존양액 + 개발제제 500배액)	A군 : 케일상태 = 정식 후 17일째
▶B군 양액 : (기존양액 + 개발제제 1,000배액)	B군 : 케일상태 = 정식 후 17일째
▶C군 양액 : (기존양액 + 개발제제 2,000배액)	C군 : 케일상태 = 정식 후 17일째
▶D군 양액 : (기존양액)	D군 : 케일상태 = 정식 후 17일째

※ 육안상으로는 각 군별로 큰 차이가 없음.

○ 수확(18. 10. 24)

▶A군 양액 : (기존양액 + 개발제제 500배액)	A군 : 케일상태 = 정식 후 31일째	A군 뿌리형태
▶B군 양액 : (기존양액 + 개발제제 1,000배액)	B군 : 케일상태 = 정식 후 31일째	B군 뿌리형태
▶C군 양액 : (기존양액 + 개발제제 2,000배액)	C군 : 케일상태 = 정식 후 31일째	C군 뿌리형태
▶D군 양액 : (기존양액)	D군 : 케일상태 = 정식 후 31일째	D군 뿌리형태

※ 각 군별 케일의 상태를 육안으로 관찰했을 때에는 유의적으로 큰 차이는 없었지만, C군이 가장 상태가 좋았으며, 뿌리 형태는 B군이 가장 좋았음.

○ 실험결과

<4개군별 수확량>

단위 : g

군 \ 횟수	20포기 1회	20포기 2회	20포기 3회	평균
A(500배액)	94.26	103.12	95.06	97.48
B(1,000배액)	131.78	129.74	131.92	131.15
C(2,000배액)	134.06	139.46	138.40	137.31
D(대조구)	131.24	135.02	137.25	134.50

※ 수확량은 A군을 제외하고는 평균 값이 큰 차이는 없었지만 C군의 수확량이 가장 높았음.

<A군 케일(기본양액 + 개발제제 500배액)>

NO \ 항목	잎 두께(mm)	줄기 두께 (mm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽록소
1	0.326	5.27	13	12.2	59.1
2	0.433	4.99	13.5	13	48.0
3	0.180	5.71	14.2	13	52.2
4	0.312	5.28	15	13.5	47.3
5	0.316	5.12	14.9	15	37.9
6	0.400	5.52	13.5	11.7	42.3
7	0.276	5.14	15.7	14	41.9
8	0.357	5.59	15.8	14.2	41.1
9	0.355	4.90	14.5	13	38.4
10	0.322	5.26	15	14.5	38.5
평균	0.33	5.28	14.51	13.41	44.67

※ 총 60포기의 케일을 20포기씩 3개 군으로 나누어 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음.

<B군 케일(기본양액 + 개발제제 1,000배액)>

NO \ 항목	잎 두께(mm)	줄기 두께 (mm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽록소
1	0.493	5.56	15	13.5	35.2
2	0.257	4.67	12.8	12.1	29.5
3	0.488	5.04	14.8	14	27
4	0.281	5.54	15	14.9	31.3
5	0.368	6.35	15.5	14.5	37.4
6	0.237	6.12	13.5	12.5	33.3
7	0.351	5.32	16	14.8	24.2
8	0.388	4.95	15.5	15	40.2
9	0.288	5.52	15.5	14	35.6
10	0.283	5.85	16	15	39.1
평균	0.34	5.49	14.96	14.03	33.28

※ 총 60포기의 케일을 20포기씩 3개 군으로 나누어 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음.

<C군 케일(기본양액 + 개발제제 2,000배액)>

항목 / NO	잎 두께(mm)	줄기 두께 (mm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽록소
1	0.283	4.93	14.5	13.5	34.7
2	0.267	6.01	17	15	33.9
3	0.337	5.16	16	15	33.1
4	0.291	5.68	16	14	36
5	0.325	5.44	14.5	14	30.4
6	0.347	5.31	13.3	12.5	40
7	0.343	5.92	14.2	13.3	31.7
8	0.282	4.99	16.5	15.8	36
9	0.259	5.52	18.8	15.5	21.2
10	0.338	5.39	15	14.5	45.8
평균	0.31	5.44	15.58	14.31	34.28

※ 총 60포기의 케일을 20포기씩 3개 군으로 나누어 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음.

<D군 케일(기본양액)>

항목 / NO	잎 두께(mm)	줄기 두께 (mm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	엽록소
1	0.344	5.87	18.5	16.5	40.6
2	0.227	4.89	16.5	13.5	43.2
3	0.283	5.93	17.5	16	37.5
4	0.298	5.66	16	16	44.3
5	0.353	5.04	17	17.5	45.8
6	0.281	4.91	15	14	41.5
7	0.321	5.11	16.5	14.5	45.5
8	0.502	4.98	20	18.5	39.4
9	0.483	5.03	15	14	45.7
10	0.287	5.29	16.2	14	38.6
평균	0.34	5.27	16.82	15.45	42.21

※ 총 60포기의 케일을 20포기씩 3개 군으로 나누어 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음.

※ 총 4개 군으로 나누어진 케일을 수확하여 각 군별로 잎 두께, 줄기 두께, 엽장, 엽폭 및 엽록소를 측정한 결과 잎 두께는 유의한 차이가 없었으며, 줄기 두께는 B군이 가장 컸으며, 엽장과 엽폭은 D군이 가장 컸으며, 엽록소는 A군이 가장 높았음.

<케일 군별 헌터값>

	Hunter		
	L	a	b
A군	34.57	-6.76	8.65
B군	36.82	-10.55	12.71
C군	37.86	-11.16	11.32
D군	37.44	-10.39	10.72

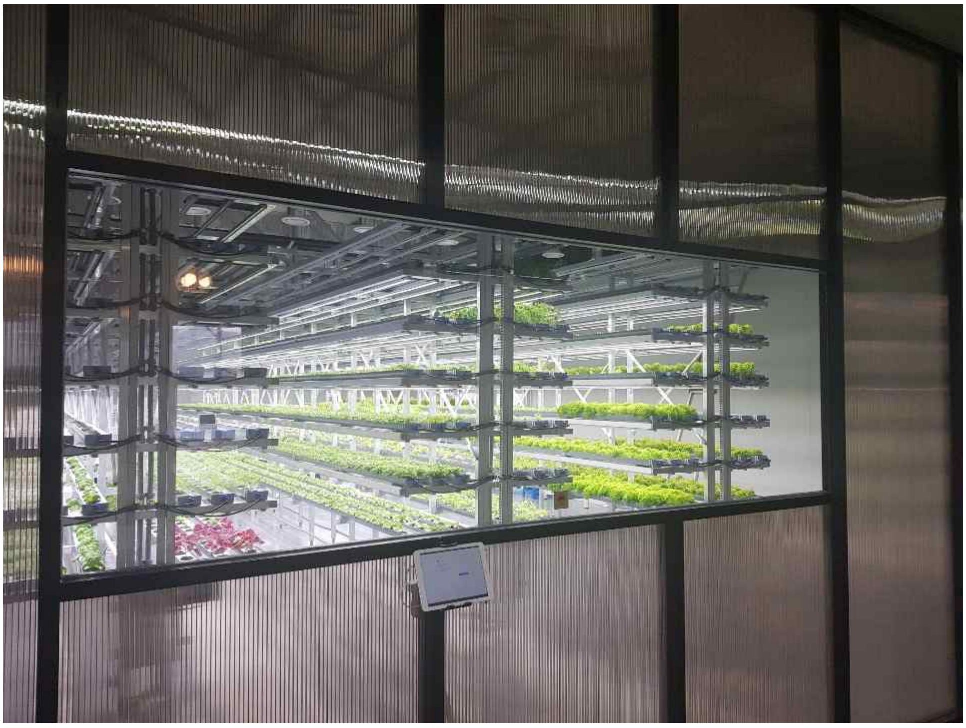
○ 연구결과

- 활성칼슘 제조조건 확립 : 소성온도, 소성시간, 전기분해 시간, 전기분해 전압 등의 제조 조건에 따른 칼슘의 순도 및 용해도 연구
- 복합 활성미네랄의 제조조건 확립 : 압력, 가압시간, 교반시간 및 속도, 반응온도 및 반응시간 등의 제조 조건에 따른 복합 활성미네랄의 함량 연구
- 순도 97.5% 이상의 활성칼슘과 총 미네랄 함량 1.7% 이상의 복합 활성미네랄 제조(대량생산) 및 복합물 조성 연구
- 실험실에서 생산한 활성칼슘과 복합 활성미네랄의 복합물을 이용하여 작물에 알맞은 양액 조성물 개발(케일)
- 생육 단계별 공급량, 공급방법, 공급횟수의 기준을 설정하여 식물공장 재배사에서의 현장적용 작물시험(케일)
- 대조구, 500배, 1,000배, 2,000배 공급에 따른 케일의 수확량, 잎 두께, 줄기 두께, 엽록소 등을 측정

제3절. 3차년도 연구수행 내용

1. 식물공장 생산시스템에 보완을 통한 시스템 최적화

(1) 모델화 구축과 운영을 통한 검증



[식물공장 생산시스템의 현장보급을 위한 실질적인 모델구축 시운전]

※ 한경대학교에서 바질 실험을 위한 재배베드 운영을 통한 개선 사항 파악

※ 자체 운영자를 통하여 재배베드 작물 재배와 운영을 통한 운영상 개선사항 파악

가. 각 요소별 모듈화를 통하여 재배베드의 설치 기간 단축

[이전 재배베드]

[개선 재배베드]

항목	구분	기존	개선	비고
재배베드 모듈 제작	재배프레임	9일	4일	- Sus 소재 -> AL 소재 - 소재 감소를 위한 조립 - 조립 구조 변경
	재배시스템	6일	3일	- Sus 소재 -> ABS 소재 - 부속들의 금형화 - 범용 자재를 활용한 재배시스템 변경
	양액제어 시스템	5일	2일	- 독립 양액제어시스템으로 배관 작업 감소
	인공광원 시스템	20일	11일	- 2,304 Bar -> 1,152 Bar - 기술개발로 인한 단가 하락 - 효율 증대로 갯수 감소
현장 설치 기간		30일	10일	- 반조립 상태의 구조 변경 - 인공광원의 조립 구조 변경 - 불필요한 배관 공사 감소 - 일부 모듈화

※ 동일한 재배베드 구축 Bay수 로 비교(4 Bay 기준) / 작업자는 일반 작업자 2명/ 관리자 1명

※ 기존 대비 제작과 설치 시간 40% 감소

※ 배선과 배관 작업에 작업 공정표 개선으로 15% 하락 가능

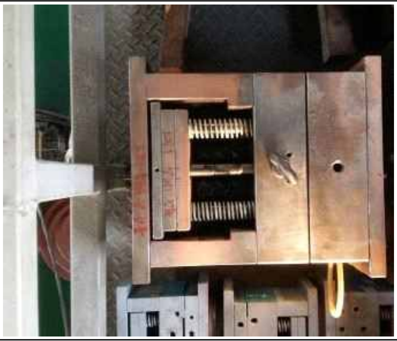
※ 수작업과 전문 기술자의 공정을 최소화

나. 재배베드 사양

구분	엽채류 재배베드 사양
설치 수량	- 엽채류 재배베드 : 4 Bay
사이즈 재배베드	- 10m x 1.4m x 3m(H), 6단 (단수 및 길이 조절 가능(길이는 1.2m 간격으로 조절이 가능))
관수 방식	- NFT 재배 방식
총 Pot 수	- 총 8,064 Pot (1 Bay : 2,016 Pot 거터 6 line, 재배판 7구(재식거리 17cm * 20cm 기준))
프레임 재질	· 43 x 43 x 1.4T AL파이프를 통한 경량 구조 · 식물공장에 특수성을 살린 전용 알루미늄 사용(아노다이징 코팅) · 하기 3종의 AL파이프 끼리 결합시 용접이나 본드를 사용하지 않아 유해 물질 및 부식에 대한 방지. · 순환되는 양액의 하중을 감안한 격벽 구조의 설계.
식물생장 LED	· 1190mm, 36v/24w / W+R조합 (White에 경우 R+G+B의 혼합) / 파장대 440nm ~ 660nm · Housing 구조의 LED Clip 포함, 총 LED 개수 : 1,152 Bar(1 Bay : 288 bar)
재배 베드	· 재배 거터 : 103mm X 55mm X 9700m, 1단에 6열 · 소재 : ABS /개수 : 36 EA / 6단 배치 ※ 재배판 슬라이딩 구조
재배판	· 소재 : ABS / 개수 : 288 EA / 6단 배치 · 사이즈 : 1.2m X 1T, 7타공
배양액 순환 시스템	· 배양액 순환 배관(PB배관/PVC 배관), 단 별 급수 조절 밸브(원터치 밸브), 양액 배합통 400L
기류이동 시스템	· 총 : 28 EA(1 Bay : 6 EA) · 재배베드 하단 기류 이동 시스템, 순환 Fan 1.2m 간격 배치
양액 제어 시스템	· 제어 PCB 4 SET (Ph, EC 센서 포함) · 양액 원액 투입 펌프 4 SET(각 A, B, C 펌프)

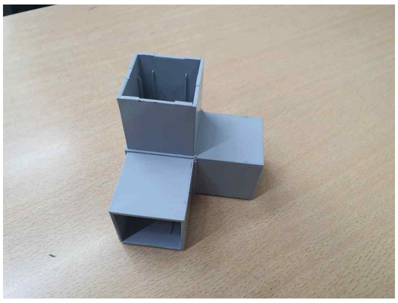
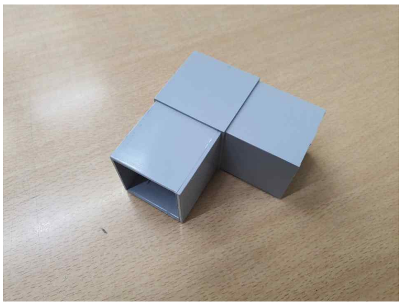
(2) 재배베드의 개선을 통한 시스템 구성

가. 재배베드의 모듈별 금형화 현황

		○ 제품명 : 거터 배수 브라캣 ○ 금형치수 : 350*370*380 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G/8M886-B GY ○ 제품중량 : NET 61g

		○ 제품명 : 거터 급수 브라캣 ○ 금형치수 : 350*370*380 ○ CAVITY : 1*1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 35g

		○ 제품명 : 거터 중간 브라캣 ○ 금형치수 : 350*350*380 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 50g
		○ 제품명 : 거터 받침대 ○ 금형치수 : 300*250*250 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 17g
		○ 제품명 : 급수 마개 ○ 금형치수 : 250*230*270 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 12g
		○ 제품명 : 모서리 보호대 ○ 금형치수 : 230*200*240 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 11g

		○ 제품명 : 삼바리 브라캣 ○ 금형치수 : 350*400*410 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 88g
		○ 제품명 : 엘자 브라켓 ○ 금형치수 : 350*400*410 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 56 g
		○ 제품명 : 클립 ○ 금형치수 : 280*250*275 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 11 g
		○ 제품명 : 커버 ○ 금형치수 : 280*250*275 ○ CAVITY : 1*2 ○ 사용수지 재질 : ABS HF380G ○ 제품중량 : NET 11 g

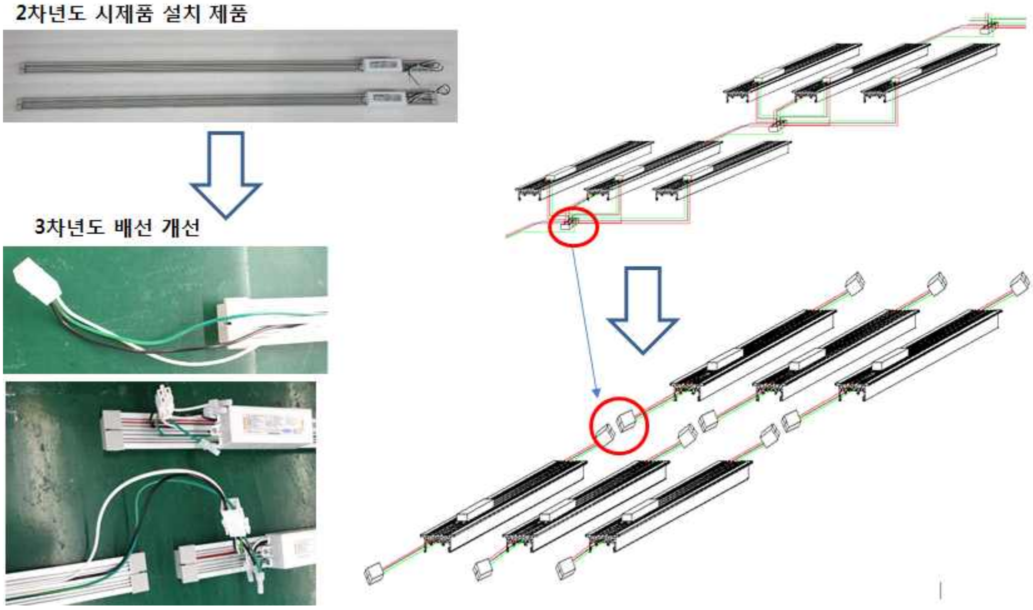
		○ 제품명 : 재배거터 ○ 금형치수 : 450*450*500 ○ CAVITY : 1 ○ 사용수지 재질 : 8M886-B GY ○ 제품중량 : 3kg/5m

※ 사출과 압출 금형 총 11벌 제작
※ 소재의 재사용을 방지하기 위한 소재 선정
(백색의 경우 재활용으로 많이 사용 되며 재활용 사용 할 시 중금속 검출)

나. 인공광원의 모듈별 제품화 현황

○ 인공광원의 배선 구조 변경

- 2차년도 시범 설치 시에 8P단자를 적용하여 설치를 하였으나, 설치 후 배선 정리 및 문제점이 발생 하였으며, 작업성이 저하되는 현상이 있어, 단품 제작시 AC와이어 양단에 컨넥터를 부착하여 제품간 바로 연결하여 사용할 수 있도록 설계 변경을 하였음. 단품제작시에 추가비용은 발생하나 설치시에 시간 단축이 가능하여 원가 절감의 효과가 있음.



[배선 구조 변경]

○ 사업화 준비를 위한 인증 절차

- 식물재배등의 경우 아직 국가 표준 항목에 없어 일반 조명등기구 기준으로 안전인증을 획득하여 일반 조명 제품으로 판매가 가능함.

○ 국가 안전인증

안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH11883-19025A
제 품 명: LED등기구(고정형)
기본모델명: DMGL-030-12SCR00
정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 30 W
2019 년 11 월 12 일
한국기계전기전자시험연구원장
Korea Testing Certification

안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH11883-19024A
제 품 명: LED등기구(고정형)
기본모델명: DMGL-020-12SCR00
정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 20 W
2019 년 11 월 12 일
한국기계전기전자시험연구원장
Korea Testing Certification

안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH11883-19026A
제 품 명: LED등기구(고정형)
기본모델명: DMGL-012-06SCR00
정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 11 W
2019 년 11 월 12 일
한국기계전기전자시험연구원장
Korea Testing Certification

○ 전자파 필증

방송통신기자재등의 적합등록 필증
Registration of Broadcasting and Communication Equipments

기본모델명: DMGL-020-12SCR00
2019-12-18
국립전파연구원장
Director General of National Radio Research Agency

방송통신기자재등의 적합등록 필증
Registration of Broadcasting and Communication Equipments

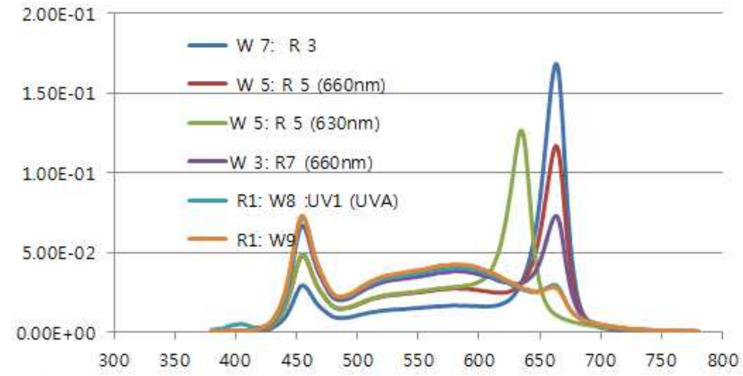
기본모델명: DMGL-030-12SCR00
2019-12-18
국립전파연구원장
Director General of National Radio Research Agency

방송통신기자재등의 적합등록 필증
Registration of Broadcasting and Communication Equipments

기본모델명: DMGL-012-06SCR00
2019-12-18
국립전파연구원장
Director General of National Radio Research Agency

○ 제품 단가 절감을 위한 샘플 LED 제작과 재배 실험

- 기존 660nm에 LED 패키지는 식물생장 외에는 사용 용도가 적어서 조명 시장에서는 단가가 높게 측정이 된다. 그 중 630nm는 기존 660nm에 비해 단가가 낮으며 본 실험을 통해서 가능성 확인.



시료번호	#1	#2	#3	#4	#5	# 6 2차년도 샘플
RED : White	W 7: R 3	W 5: R 5 (660nm)	W 5: R 5 (630nm)	W 3: R7 (660nm)	R1: W8 :UV1 (UVA)	R1: W9
Øv [lm] (총광속	1.28E+03	1.89E+03	2.24E+03	2.50E+03	2.59E+03	2.71E+03
DW [nm]	615.6	601.4	608.8	586.1	568.9	568.2
CW [nm]	609.24	584.39	574.07	566.04	550.8	5283
CCT [K] (색온도	2677	3992	2679	4791	5293	5283
lm / W (광효율)	5.50E+01	8.10E+01	9.56E+01	1.05E+02	1.10E+02	1.19E+02
Vf [V]	2.21E+02	2.21E+02	2.21E+02	2.21E+02	2.21E+02	2.21E+02
If [mA]	1.11E+02	1.10E+02	1.11E+02	1.12E+02	1.12E+02	1.08E+02
W (소비전력)	2.33E+01	2.33E+01	2.35E+01	2.38E+01	2.36E+01	2.29E+01
PF (역률)	0.9562	0.9604	0.9617	0.9623	0.9569	0.9605

[3차년도 재배 연구를 위한 샘플 제작]

Umol측정결과 (@280mm)

측정위치	R1 W9		R1 W8 UV1		B2 R3 W5		W5 R5(630nm)	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
1	82	79	109	89	76	91	100	84
2	108	97	114	97	79	94	112	100
3	104	90	108	92	79	92	98	92
4	115	107	117	109	94	98	115	105
5	120	113	121	117	98	100	121	126
6	95	87	119	112	92	96	109	96
7	84	79	105	99	93	83	98	90
8	107	101	103	104	89	86	106	105
9	103	94	104	101	87	85	102	96
1	111	95	109	97	77	89	103	89
2	114	98	111	92	82	92	107	99
3	105	88	97	85	80	92	81	76
4	112	109	104	104	96	100	89	83
5	122	118	120	113	97	100	117	116
6	121	116	118	112	93	96	115	102
7	107	107	102	101	83	94	98	92
8	111	106	104	102	88	88	102	101
9	101	98	92	91	85	91	83	81
min	82	79	92	85	76	83	81	76
max	122	118	121	117	98	100	121	126
aver	106.78	99.00	108.72	100.94	87.11	92.61	103.11	96.28
min/aver	0.77	0.80	0.85	0.84	0.87	0.90	0.79	0.79
max/aver	1.14	1.19	1.11	1.16	1.13	1.08	1.17	1.31

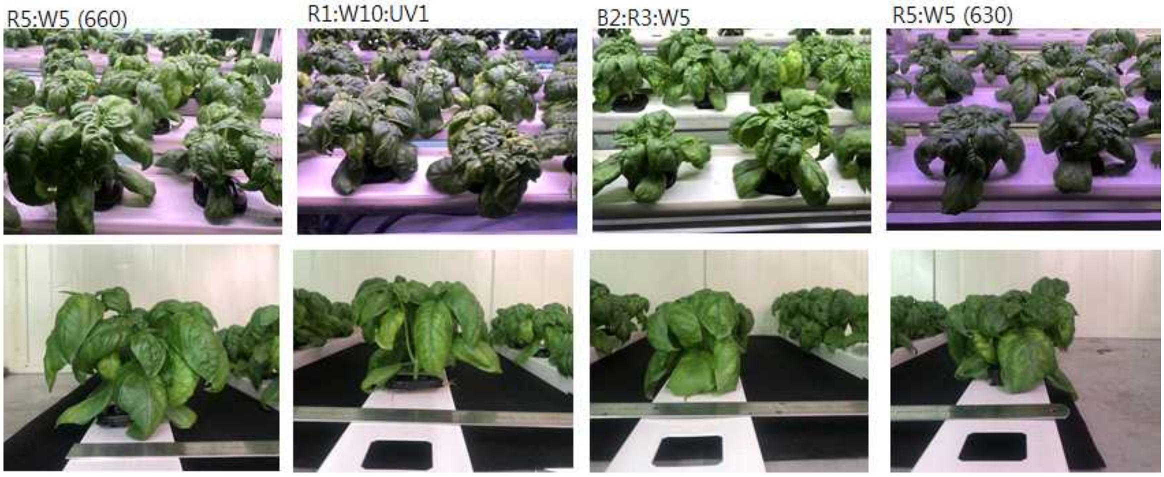
[u-mol 측정 결과]

○ 실험 결과

- 본 실험을 통하여 660nm와 630nm의 성장률이 유사하여 660nm대체용으로 630nm 사용 가능성을 확인 할 수 있으며 보다 다양한 식물 재배를 통한 검증이 필요할 것으로 판단된다. 만약, 검증이 된다면 LED 비용의 원감 절감 효과를 기대 할 수 있을 것으로 보인다.

바질 성장실험 결과 (2019.08.05. ~ 2019.09.02. 정식 5주차 수확 data)

LED 구분	Total 무게(g)	잎,줄기무게	뿌리무게	식물높이	잎 수
		(g)	(g)	(mm)	(ea)
R5:W5 (660)	61.13	27.65	33.48	112.52	23.8
R1:W10:UV1	61.95	30.7	31.24	121.94	24.6
B2:R3:W5	43.93	19.51	24.42	94.89	19.6
R5:W5 (630)	60.6	26.75	33.85	107.19	21.9

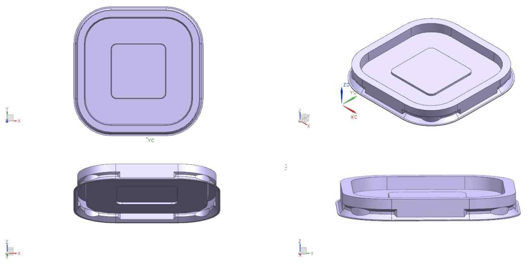


[실험 결과 데이터]

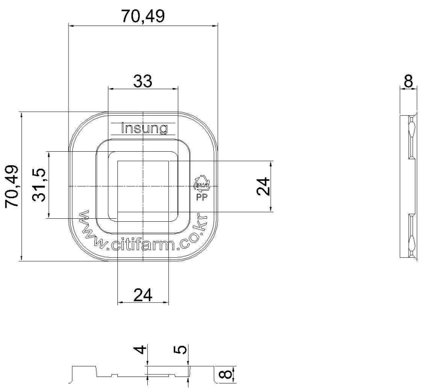
다. 재배 포트의 개발

○ 재배포트는 소모품으로 재활용이 가능한 소재로 설계를 진행 하였으며, 우레탄 스펀지와 배지가 끼워 질 수 있는 가운데 플립 형태로 이루어 질 수 있도록 “H” 구조로 설계를 진행하였다.

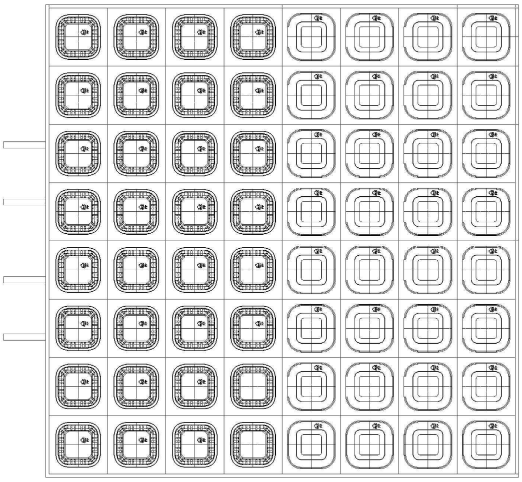
○ 또한, 부자재는 소모품으로 단가가 낮아야 되며 금형 제작 자체를 단가를 최적화 할 수 있는 PP 0.5T와 Cavity 수를 조절하여 제작 되었습니다.



[3D 모델링 작업]



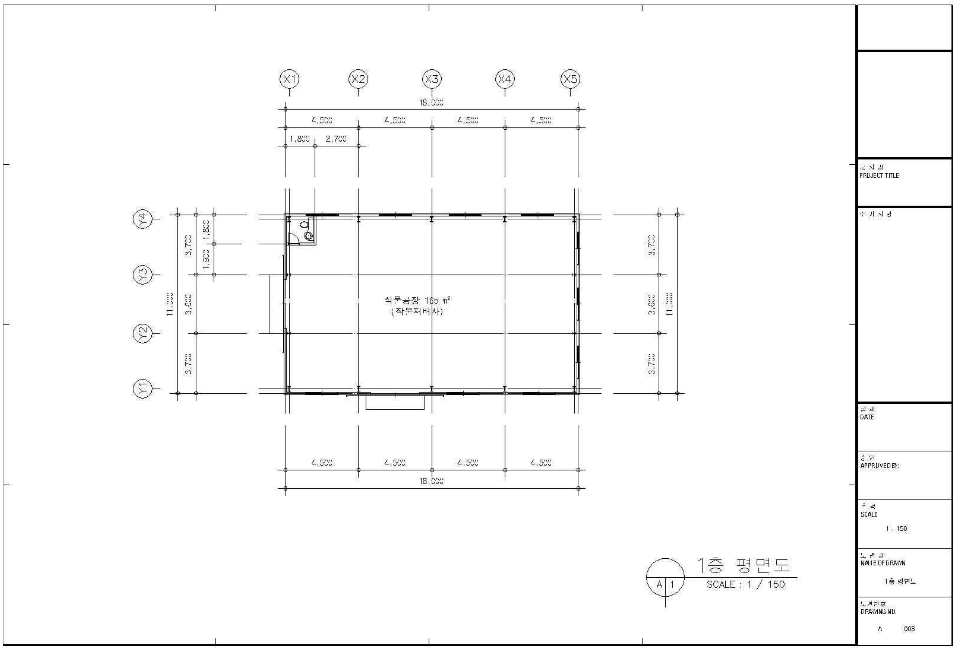
[도면작업]



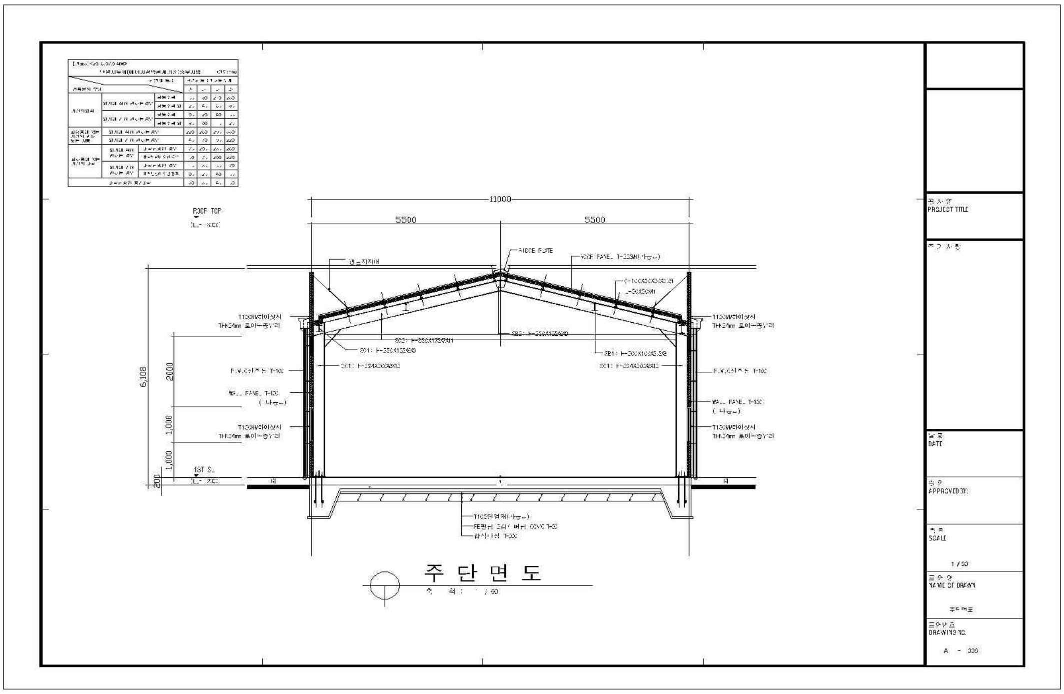
[금형 설계도 작성]

	○ 제품명 : 재배포트 ○ 금형치수 : 700*700*100 ○ CAVITY : 1*64 ○ 사용수지 재질 : PP 0.5T ○ 제품중량 : NET 4.4g

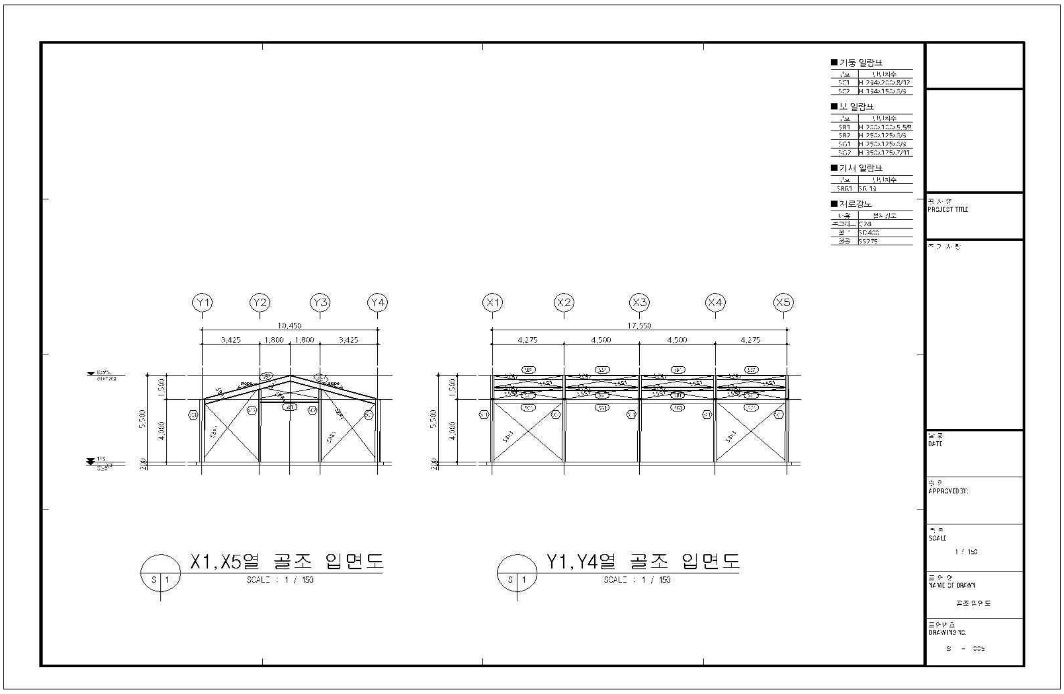
라. 현장보급형 모델화 구축을 위한 표준설계도



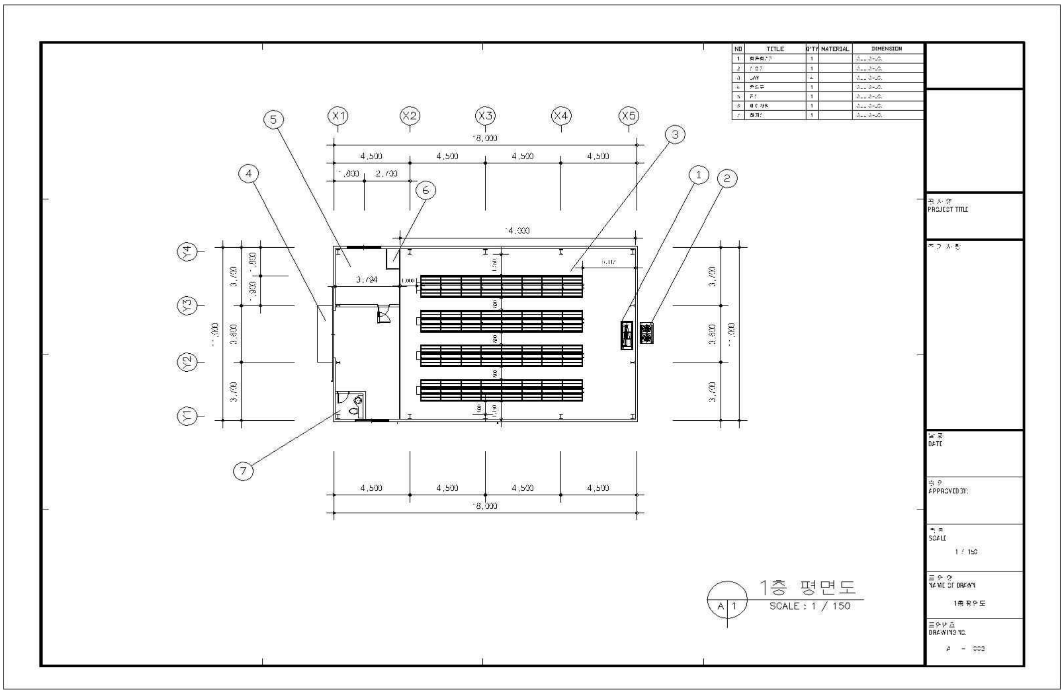
[재배사 구축 평면도]



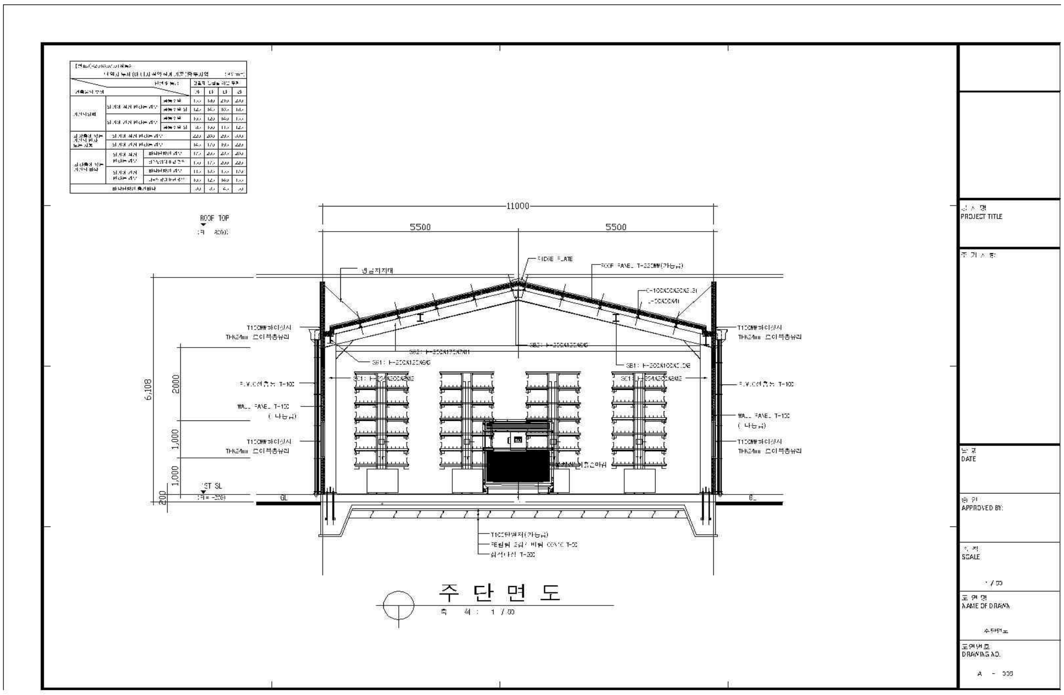
[재배사 구축 단면도]



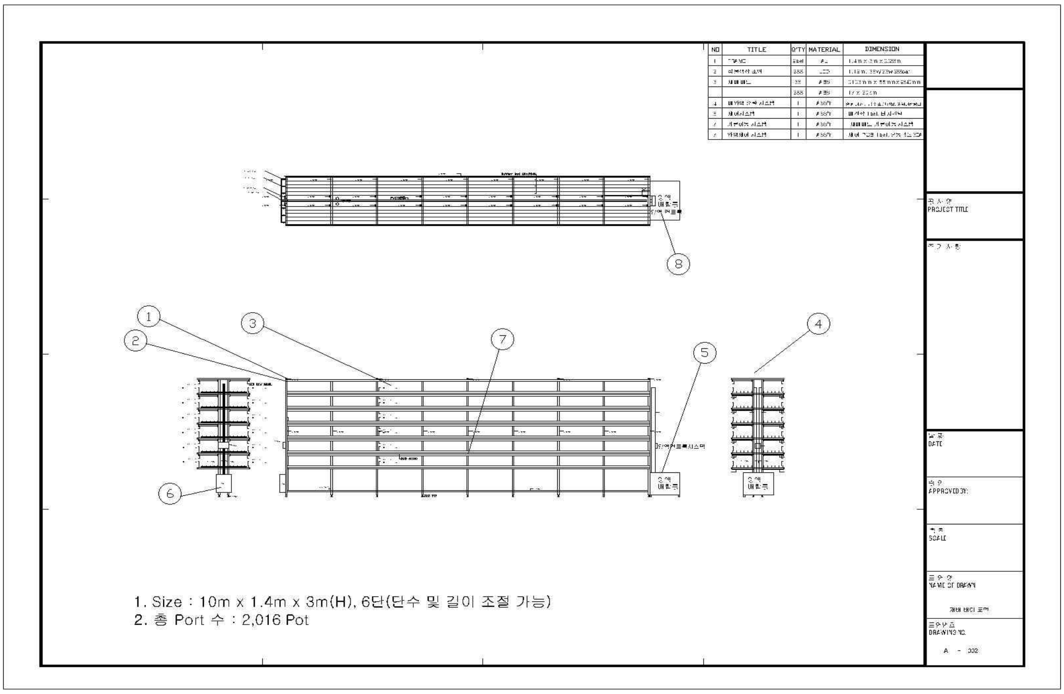
[재배사 구축 입면도]



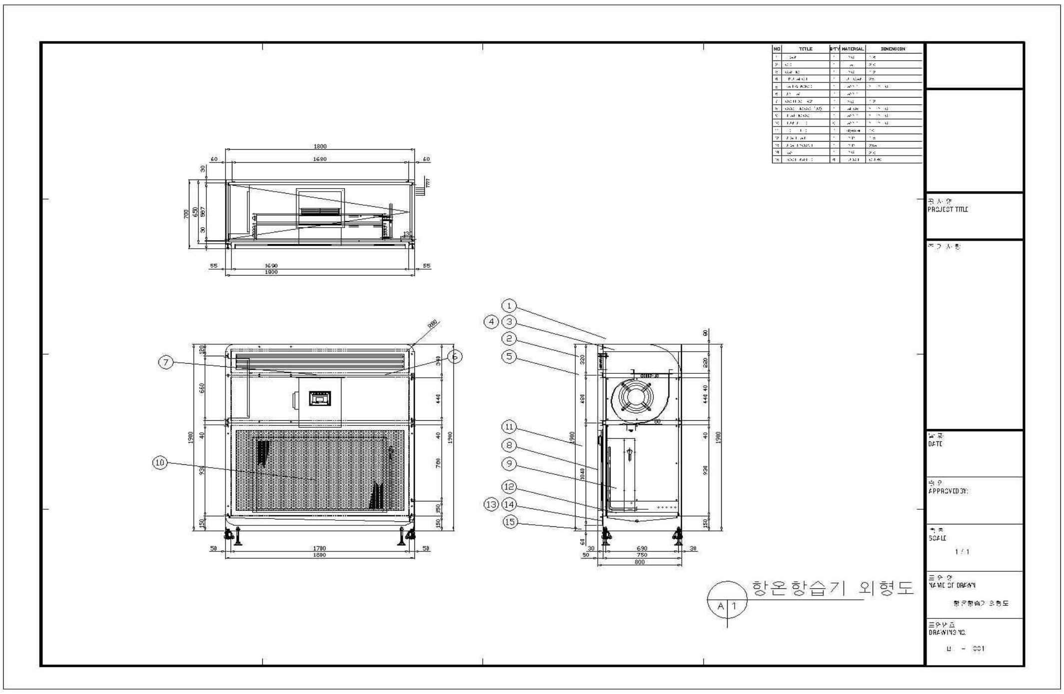
[식물공장 시스템 전체 구성도- 평면도]



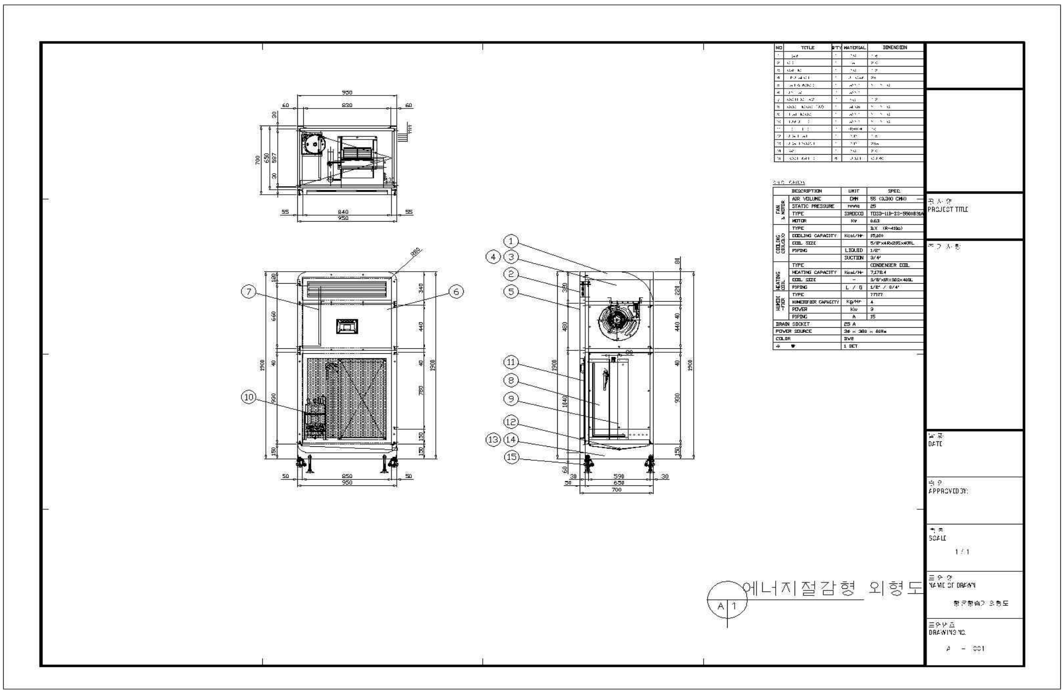
[식물공장 시스템 전체 구성도- 단면도]



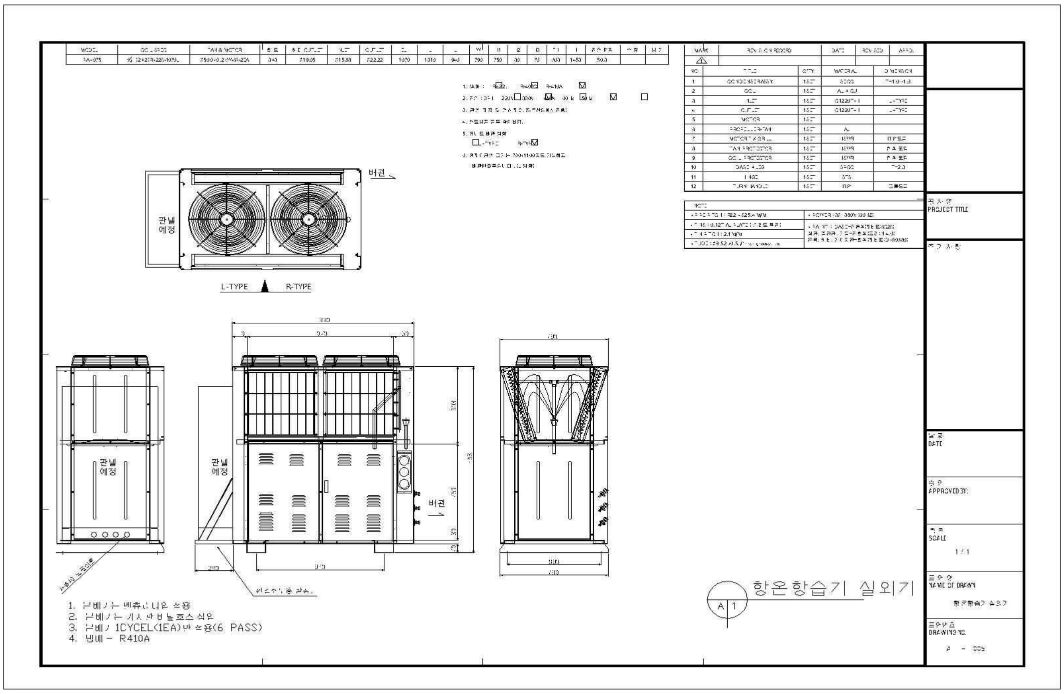
[식물공장 시스템 전체 구성도- 재배베드]



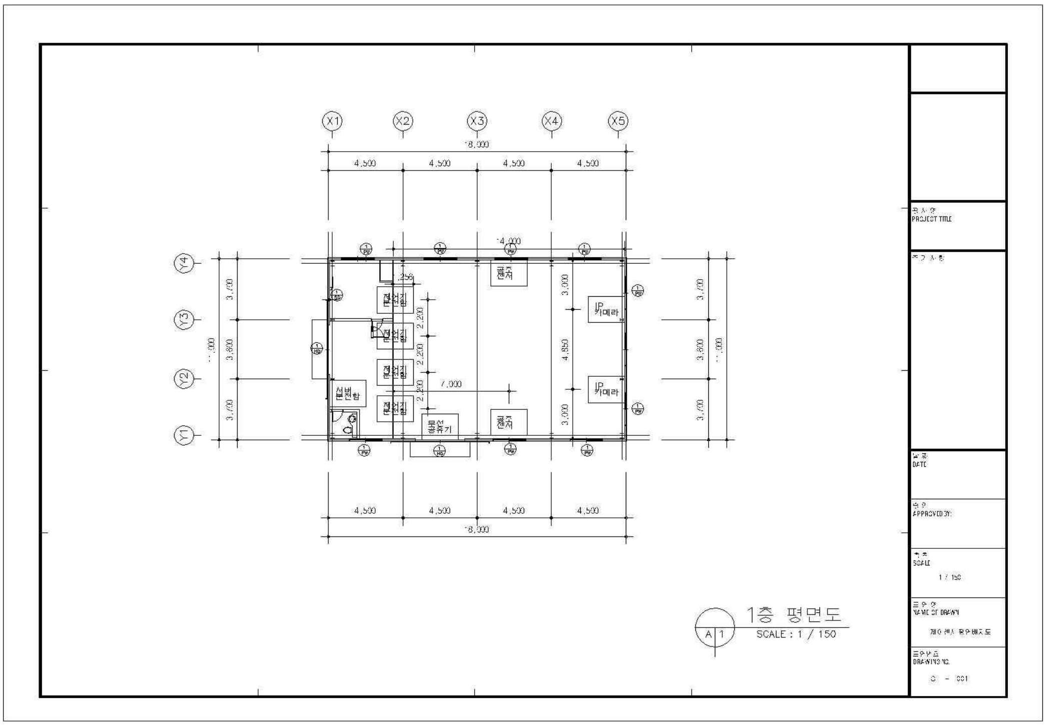
[식물공장 시스템 전체 구성도- 공조장치(저가형)]



[식물공장 시스템 전체 구성도- 공조장치(에너지 절감형 실내기)]



[식물공장 시스템 전체 구성도- 공조장치(에너지 절감형 실외기)]



[식물공장 시스템 전체 구성도- 센서 시스템]

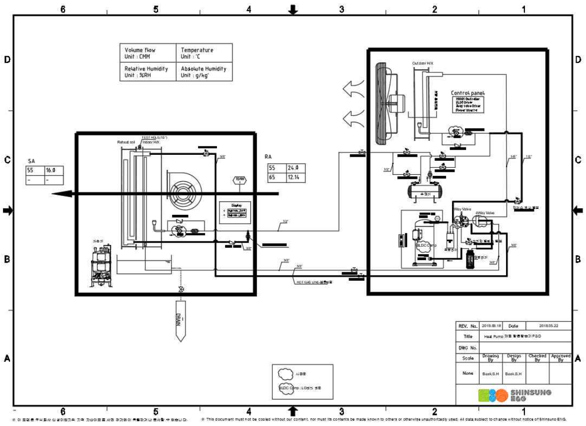
※ 표준설계도 2개 작성(공조 시스템의 저가형과 에너지 절감형)

(3) 식물공장 항온 항습기의 시스템 구성

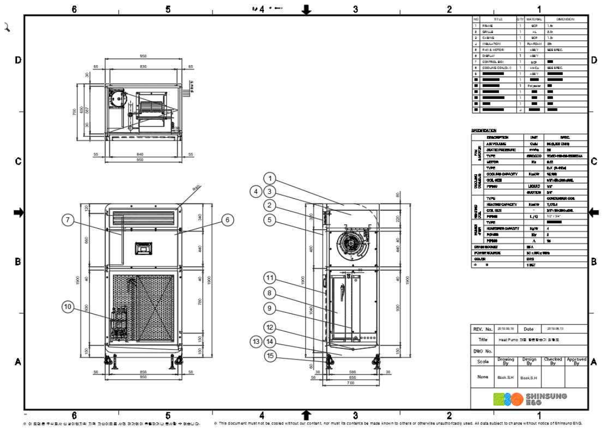
가. 에너지절감형 항온항습기 개발

○ 가변부하 대응 시스템 적용된 에너지 절감형 항온항습기 개발

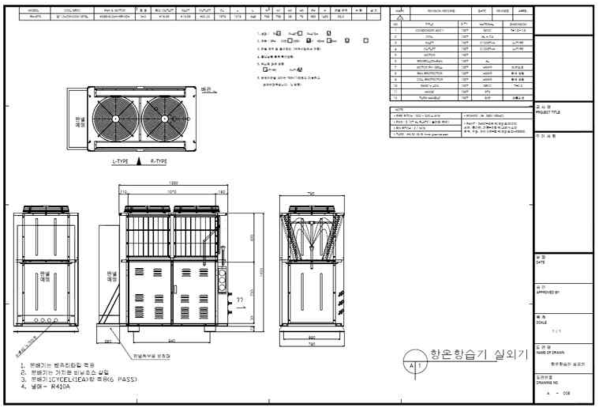
- 일반적으로 공조시스템 설계를 위하여 실외 온•습도, 건축형태, 단열, 내부발열, 작업자 인원 등 다양한 조건들을 고려함
- 위 요소들 중 실외 조건은 냉방조건은 여름 표준조건, 난방은 겨울 표준조건을 기준으로 하며 내부부하 및 인체부하는 100%를 기준으로 제시하여 설계되며 악조건 등은 안전율을 적용하여 계산함 따라서 일반적으로 항온항습기 용량 선정시 실제 부하보다 30%이상 큰 용량을 선정함
- 그러나 실제 항온항습기 운전시 실외 조건은 여름, 겨울의 표준조건 뿐 아니라 혹서, 혹한 등의 악조건, 봄, 가을의 다양한 조건에서 운전됨
- 재배Bay 운영상황 및 작업자 또한 인원이 증감 등 다양한 부하변동 상황이 발생함
- 기존 항온항습기는 압축기를 On/Off 방식으로 제어함에 따라 실외온도, 재배사내 변동부하 등이 반영된 실제 운전조건이 고려되지 않음
- 또한 On/Off 운전방식은 식물공장 내 온•습도 헌팅이 발생되는 단점 또한 존재함
- 위와 같은 문제를 해결하고자 <그림 1> 및 <표 1>과 같이 BLDC 압축기 적용으로 가변부하에 대응 가능한 에너지 절감형 항온항습기를 개발함
- 일반 항온항습기는 압축기 모터가 정격 60Hz에서 On/Off로 작동함, 그러나 본 개발제품은 RA 측 온•습도 센싱을 통해 설정 온•습도 도달을 하기위해 PID 제어를 이용하여 압축기를 30~120Hz 까지 가변하여 운전이 가능함
- 개발된 항온항습기는 정격 60Hz 에서 압축기 회전은 3600RPM 이며 압축기 모터의 회전수는 1000RPM ~ 6000RPM 까지 가변이 가능함
- 냉동사이클에서 냉동능력(Qe)은 <표 2>의 식 (2)로 표현 가능하며 냉동능력은 냉매순환량(G)과 비례함을 알 수 있음
- 이때 냉매순환량(G)은 다시 <표 2>의 식 (3), 식 (4) 의 관계로 볼 때 피스톤 압출량(Va)과 비례하며 이는 압축기의 RPM(n)에 비례함
- 즉 본 시스템은 압축기 RPM 가변 통한 냉매유량 제어로 냉동능력을 가변할 수 있음
- 2차년도 개발제품에 적용된 3Way valve 를 이용한 폐열회수 기능이 적용됨
- 4방변 적용으로 Heat Pump 기능을 추가하여 한 대의 항온항습기 제품으로 난방과 냉방을 할 수 있음
- 압축기뿐 아니라 실외기 Fan에도 BLDC 모터를 적용하고 응축기 압력에 따라서 4~20mA 비례제어를 통하여 실외기를 운전에서도 에너지 절감 효과를 볼 수 있음
- 가변부하 대응 시스템 적용을 통하여 항온항습기 설계 용량 최적화 및 에너지절감 효과를 기대할 수 있음



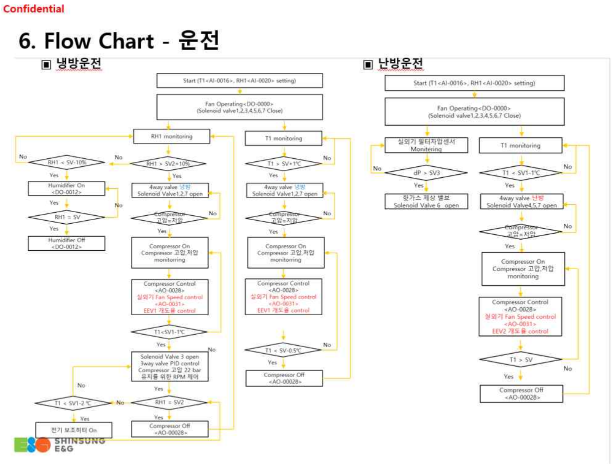
(a) 에너지절감형 항온항습기 P&ID



(b) 에너지절감형 항온항습기 실내기 외형도



(c) 에너지 절감형 항온항습기 실외기 외형도



(d) 항온항습기 운전 Flow Chart

(e) 항온항습기 실내기 사진

(e) 항온항습기 실외기 내부 배관 사진

[가변부하 대응 에너지절감형 항온항습기 P&ID, 도면, 사진]

구분		사양 에너지 절감형 항온항습기 사양	비 고
제작수량		2대	
처리열량		27,216 ~ 39,312kcal/h	- Eva Temp: 5℃ - Cond Temp : 40 ℃ - 냉매 : R-410a - BLDC 압축기 적용 용량 가변제어
장비 사이즈 W(mm) x L(mm) x H(mm)		Casing : 950 x 700 x 1,900H	
전원사양 및 소비전력		3상 4선식, 380V, 60Hz	
Dx Coil	Tube Size	5/8 “	- 열교환기 열량 45,726 kcal/h - 차압 : 11mmAq
	Pass	20	
	Row	6	
	Fin	5.5 fin/cm	
Reheat Coil	Tube Size	3/8“	- 열교환기 열량 24,690 kcal/h - 차압 : 4mmAq - △T = 5℃
	Pass	20	
	Row	1	
	Fin	3.9 fin/cm	
실내기 Fan	처리풍량	46.3 CMM	- 환기횟수 10회 기준 46.3CMM - 정압선정 : 표준형과 동일 - 2대 설치로 기류 균일도 고려함 - 습도제어를 위하여 풍량 재설정
	정압	25 mmAq	
	팬 소비전력	0.48 kW x 1EA	
실외기	장비 사이즈	Casing : 1,330 x 790 x 1,453H (제어판넬 750 x 280 x 1,200H)	- 실외기 설치 위치 별도 - 전원사양 : 실내기 동일 - 제어판넬 포함 - 실외기 BLDC 모터 적용
	실외기 풍량	140CMM	
	실외기 팬 출력	0.3kW x 2EA	
Filter Size	Pre filter	400 x 1,100 x 10t x 1EA	

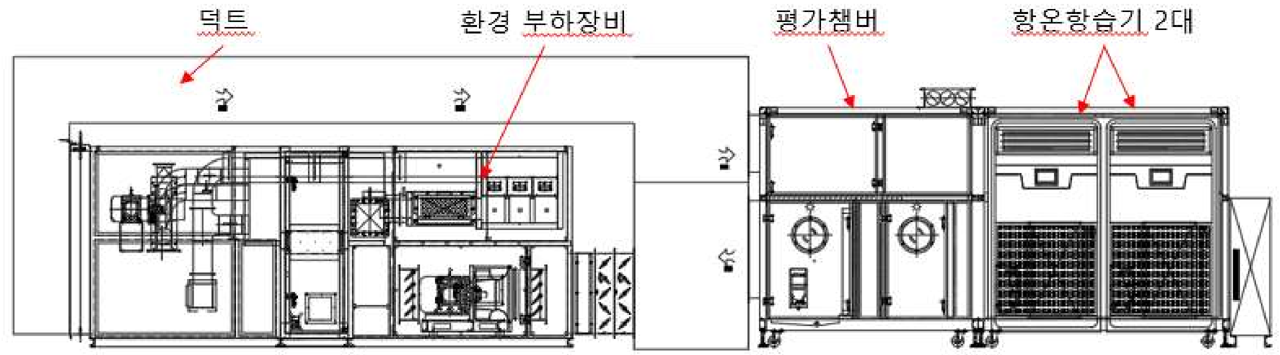
[에너지 절감형 항온항습기 스펙]

명칭	식	단위	비고	구분
냉동효과(q_e)	$q_e = i_a - i_e$	㎉/kg	i_a : 증발기 입구 엔탈피 (㎉/kg) i_e : 증발기 출구 엔탈피 (㎉/kg)	식 (1)
냉동능력(Q_e)	$Q_e = q_e * G$	㎉/h	q_e : 냉동효과 G = 냉매순환량	식 (2)
냉매순환량(G)	$G = V_a * \eta_v / v_a$	kg/h	Q_e : 냉동능력(㎉/h) q_e : 냉동효과(㎉/h) V_a : 이론피스톤 압출량(m^3/h), η_v : 체적효율 v_a 압축기흡입가스 비체적	식 (3)
피스톤 압축량 (V_a)	$V_a = \pi/4 * D * L * N * n * 60$	m^3/h	D : 실린더외경(m) L : 실린더행정(m) N : 기통수 n : rpm	식 (4)

[냉동능력 관련 식]

○ 가변부하 대응 에너지 절감형 항온항습기 평가장비 구성

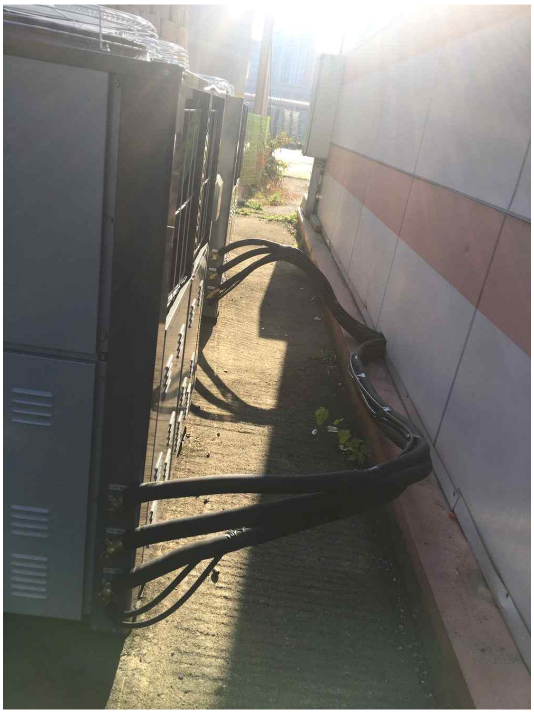
- 가변부하 시스템이 적용된 항온항습기의 평가를 위하여 <그림 2>와 같이 평가장비를 구성하고 항온항습기의 실외기는 <그림 3>과 같이 설치함
- 본 평가 시스템은 스마트팜의 발열 부하를 대체할 대형 환경장비와 본 과제 1 차년도에 제작한 항온항습 평가챔버를 개조한 평가챔버가 덕트롤 이용하여 결합되었으며 열량처리 및 평가를 진행할 가변부하 대응 에너지 절감형 항온항습기 2대를 설치하였음
- 본 평가장비를 활용하여 On/Off 운전시스템 및 가변제어 운전시스템 비교평가를 진행함
- 아래의 평가장비를 활용하여 추후 4계절 실증평가(Filed Test)를 진행 할 예정임



(a) 평가장비 설계 도면

(b) 평가장비 실제 구성 사진

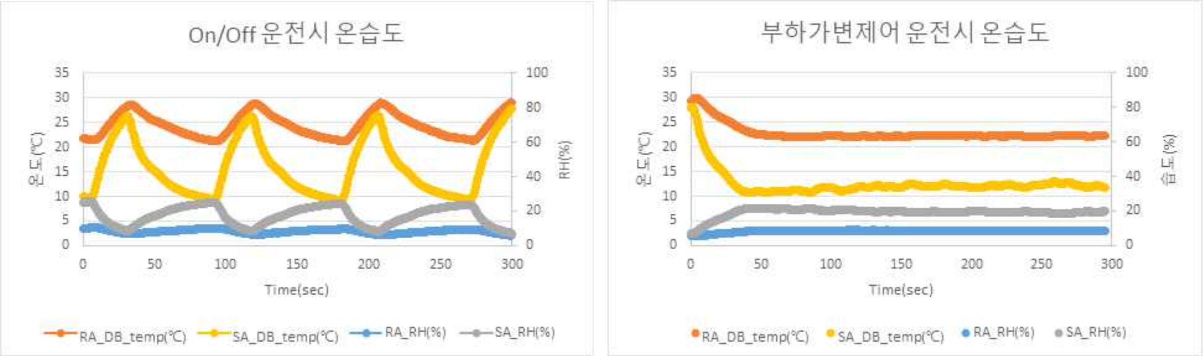
[항온항습기 실증 평가장비 구성]



[항온항습기 실증 평가장비 실외기 설치 사진]

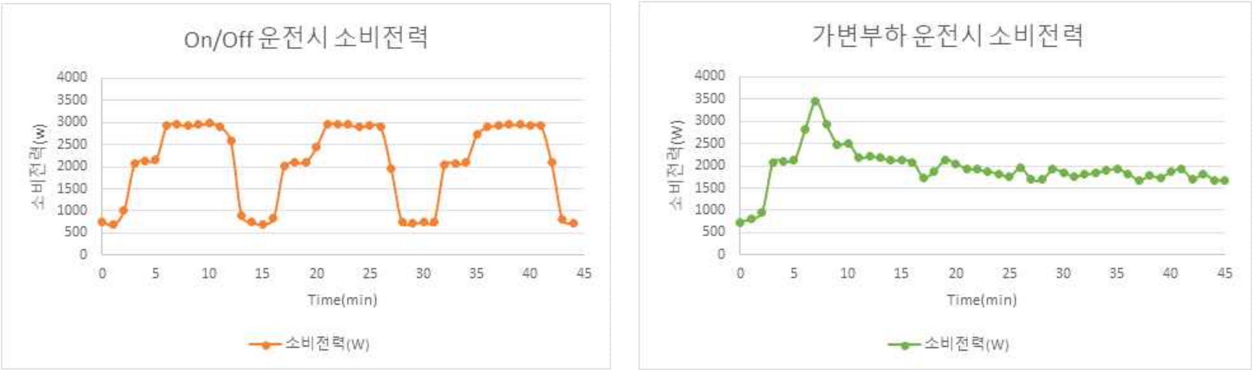
○ 항온항습기 운전방식에 따른 에너지 절감율 비교 평가

- 항온항습기의 Heatpump 기능을 활용하여 제작한 에너지 절감형 항온항습기 2대중 1대는 난방 mode로 나머지 한 대는 냉방 mode 로 평가를 진행 함
- 한 대의 항온항습기의 난방의 열량을 고정시키고 나머지 한 대를 냉방모도로 설정하여 실내온도 22℃로 설정 후 압축기 RPM의 상한값, 하한값 Setting을 통해 On/Off 방식 운전방식과 부하가변제어 운전방식을 비교 평가를 진행 함
- 평가결과는 <그림 4>, <그림 5>와 같으며 On/Off 운전시 RA측 평균 온도는 24.4℃로 설정 값인 22℃ 보다 약 2.4℃ 높았으며 소비전력은 평균 2,085W 였음
- 부하가변제어 운전시 RA 평균온도는 22.8℃ 로 On/Off 제어시보다 설정값과 유사한 값을 나타냈으며 평균 소비전력 또한 1,832W 로 On/Off 대비 12.1% 낮음
- On/Off 제어는 제어 특성상 온도의 헌팅 또한 가변부하제어 대비 큰 것으로 파악됨
- 반면에 부하가변제어는 초반에 설정온도에 도달하기 위하여 더 많은 소비전력을 사용하지만 설정값 도달 이후에는 필요한 부하만큼 에너지를 사용함에 따라 에너지가 절감되며 Room 내 온도 편차에도 도움이 됨



(a) On/Off 운전시 SA,RA 온습도 그래프 (b) 가변부하 운전시 SA,RA 온습도 그래프

[운전 방식에 따른 SA, RA 온습도 그래프 비교]



(a) On/Off 운전시 SA,RA 소비전력 그래프 (b) 가변부하 운전시 SA,RA 소비전력 그래프

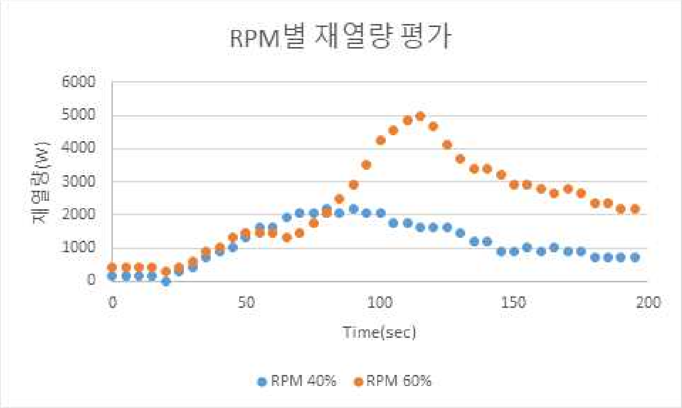
[운전 방식에 따른 에너지 소비전력]

○ 에너지 절감형 항온항습기 재열 성능 평가

- 항온항습기 및 일반 에어컨의 냉동사이클은 제습과 냉각이 동시에 이루어지기 때문에 제습을 위해서는 온도도 낮아지는 단점이 있음
- 이때 항온항습기는 일반 에어컨과 다르게 제습운전 시 낮아진 온도를 보상하기 위하여 재열 기능을 이 별도로 들어가 있음
- 기존 일반 항온항습기는 제습운전 시 재열기능 구현을 위하여 전기히터를 사용함
- 1, 2차년도 과제수행을 통하여 식물공장용 항온항습기는 재열 기능을 전기히터 대신 3Way valve를 적용하여 응축기 폐열을 통해 재열기능을 구현하였으며 3차년도 에너지 절감형 항온항습기에도 반영 됨
- 일반 항온항습기와 달리 에너지 절감형 항온항습기는 압축기 모터회전수(RPM)에 따라 냉매유량이 달라지므로 폐열회수에 쓰이는 냉매유량 또한 다를 것으로 판단하여 관련 평가를 진행함
- 결과는 <그림 6> , <표 3>과 같으며 압축기 회전수 3000RPM에서는 2,2204W의 재열량이 나타났고 4000RPM 에서는 4,997W의 재열량을 확인 할 수 있었음 RPM 증가 시 전체 냉매유량의 증가로 재열로 쓰이는 냉매(폐열량) 또한 증가함에 따른 결과로 판단되며 제습운전시 항온항습기 압축기는 60% 이상을 유지하는 것이 적절한 것으로 판단됨
- <그림 6>에서 재열량이 최대치 달성 후 재열량이 감소함을 확일 할 수 있음, 이것은

3way valve가 100% 개방 시 모든 응축열이 재열기로 쏠림에 따라 전체적인 사이클 성능 저하에 따른 것임. 따라서 3way valve의 최대 개도율은 안전율 10%를 반영하여 90% 이하가 적절한 것으로 판단됨

- 전기히터 사용시 에너지소비량은 히터열량과 동일하다고 볼 수 있으므로 폐열회수를 통한 재열로 사용되는 4,997W 만큼 절감이 가능하다고 판단 됨



<그림 6> 압축기 가변에 따른 재열량 비교

RPM	최대 재열량(W)
3000(40%)	2,204
4000(60%)	4,997

<표 3> 최대 재열량 정리표

○ 항온항습기 응축기 현열부하 저감을 위한 기화식 가습기 적용 평가

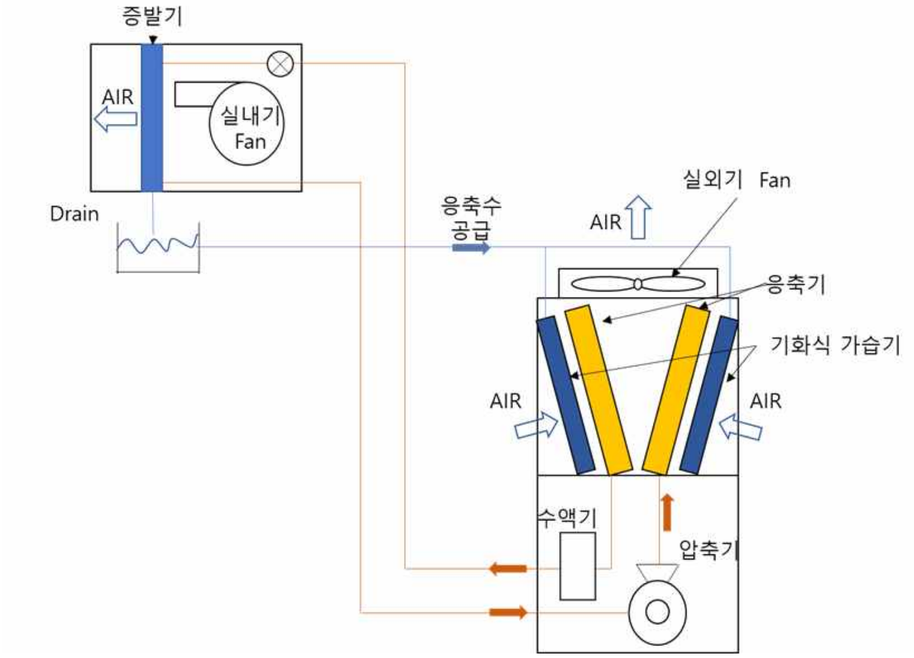
- 항온항습기는 냉동사이클 시스템일 이용하여 실내기, 실외기를 통한 열교환을 통하여 냉각, 제습을 하는 기술임
- 일반적으로 여름철 실외의 높은 온도는 응축기에 안좋은 영향을 미쳐 전체적인 사이클의 효율을 떨어트려 에너지 효율비율인 EER이 낮아지며 EER(Energy Efficiency Ratio) 이란 에너지 효율비율로 냉방능력을 소비전력으로 나눈 값을 의미함
- 여름철 항온항습기의 에너지 효율을 높이고자 <그림 7>의 컨셉과 같이 기화식 가습기를 항온항습기 응축기 전단에 장착하고 기화식가습기에 공급되는 물은 실내 증발기에서 발생하는 응축수를 활용하여 기화식 가습기에 물을 공급하고자 함
- 기화식 가습기는 단순 가습을 위해 쓰이는 소자이지만 가습특성상 증발잠열을 이용하므로 주변열을 흡수하기 때문에 이론적으로 현열부하 저감에도 효과가 있음
- 기화식가습기의 현열부하 저감 성능을 평가하고 실제 적용가능성을 평가하기 위하여 <그림 8>과 같이 평가장비를 설계하고 <그림 9>와 같이 구성함
- 평가장비에서 1 차년도에 제작한 항온항습기를 활용하였고 별도의 히터를 추가로 설치하여 다양한 환경에서의 기화식 가습기의 성능을 평가 할 수 있도록 하였음
- 평가조건은 <표 4>와 같으며 기화식 가습기에 공급되는 물량에 의한 현열저감부하 효과(풍량 및 입구온도 고정) 평가와 기화식 가습기 입구온도 변화에 따른 현열부하 저감 효과(풍량, 물 공급량 고정) 2가지의 평가를 진행하였음
- 실험에 사용된 기화식 가습기는 당사에서 보유중인 PET 재질의 기화식 가습기로 가로 385mm 세로 458mm 길이의 기화식 가습기를 평가하였음
- 기화식 가습기는 수증기 분압차이에 의한 물질전달에 의해 가습이 되고 물질전달이 이루어지는 과정에서 주변의 열을 빼앗는 증발잠열이 발생하며 <그림 10>과 같이 습공기 선도표에서 단열포화선을 따라서 온도를 낮추는 원리이므로 <표 4>에서 공급되는 물의

양과 증발잠열에 의한 현열부하 저감 효과는 큰 상관성이 없고 건구온도가 높고 상대 습도가 낮을수록 더 많은 현열부하 저감 효과를 얻을 수 있음

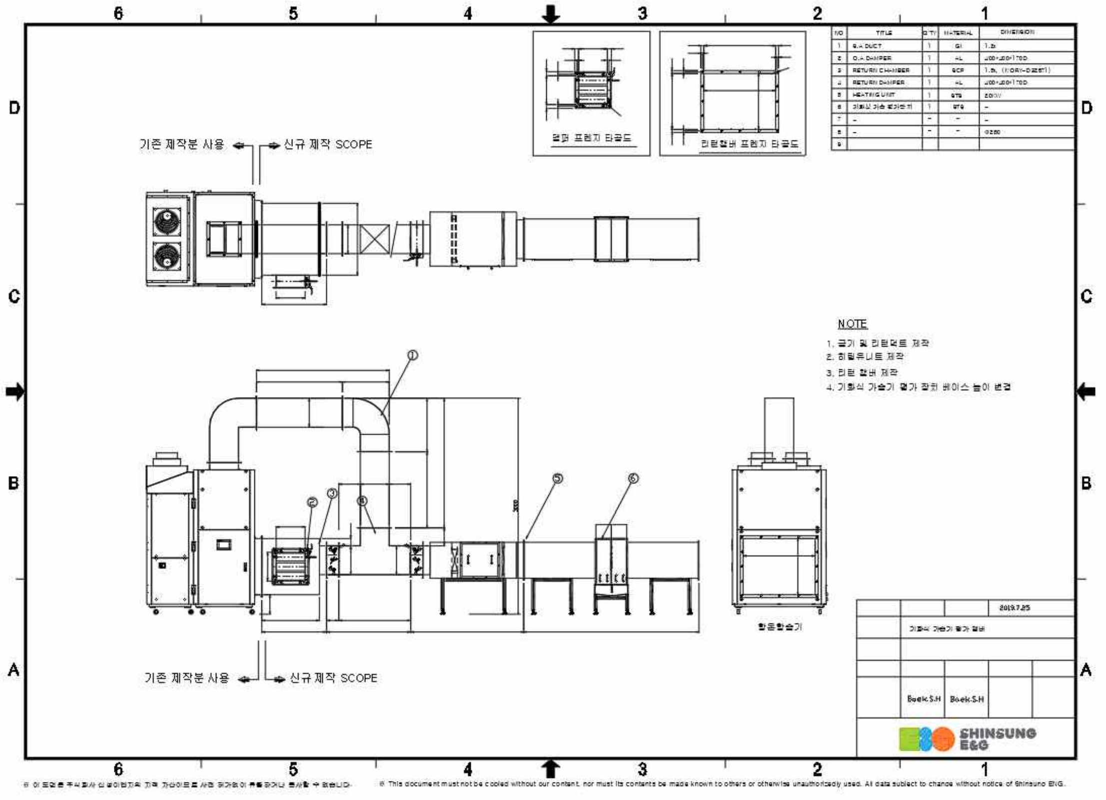
- 본 결과를 반영하여 실제 여름철 표준 조건(표1 참조)에서 140CMM 의 풍량을 가진 실외기에 적용할 경우 습공기 선도표를 참조하여 약 9,744W 만큼의 현열부하 저감될 수 있음
- 본 평가장비를 활용하여 장시간 사용시에 발생가능한 불순물에 의한 막힘 현상, 부식, 물 공급 관련 제어를 위한 평가등 다양한 평가를 지속적, 장기적으로 진행할 계획임

구분	풍량(m^3/s)	공급물량(kg/s)	입구온도(℃)	출구온도(℃)	현열량(W)
1	0.4	0.007	12(RH 61.16%)	8.71	1,579.2
2		0.013			
3		0.025	24(RH 28.73%)	13.87	4,862.4
4			30(RH 20.20%)	16.13	6,657.5

[기화식 가습소자 평가 조건 및 결과]



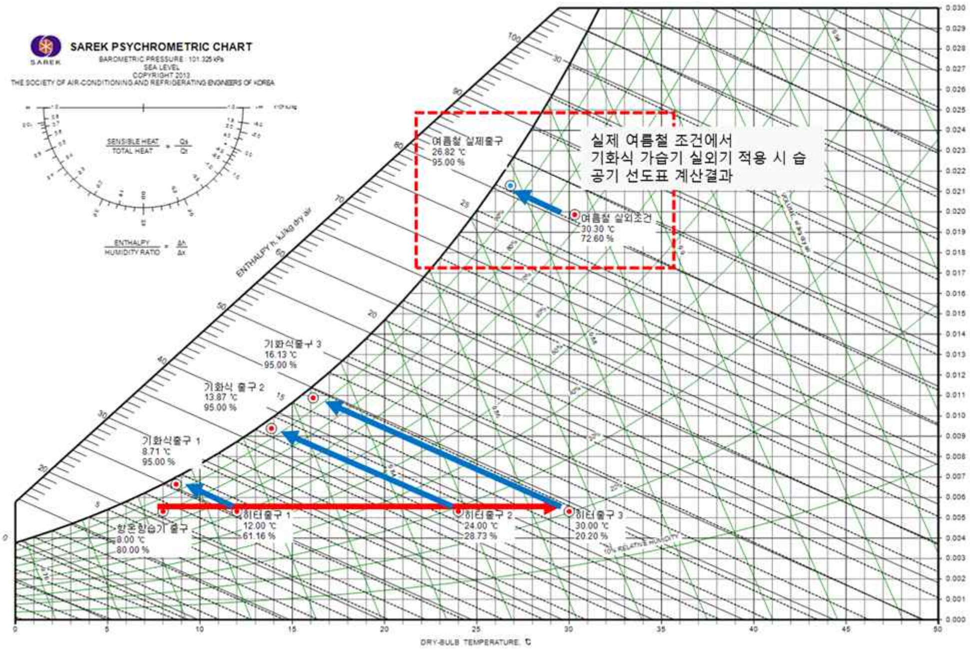
[응축부하 절감을 위한 기화식 가습기 적용컨셉]



[기화식 가습기 평가 장비 구성설계 도면]

(a) 기화식 가습기 평가장비 (b) 기화식가습 소자 설치 (c) 기화식 가습기 급수라인

[기화식 가습소자 현열부하 처리 평가장치]



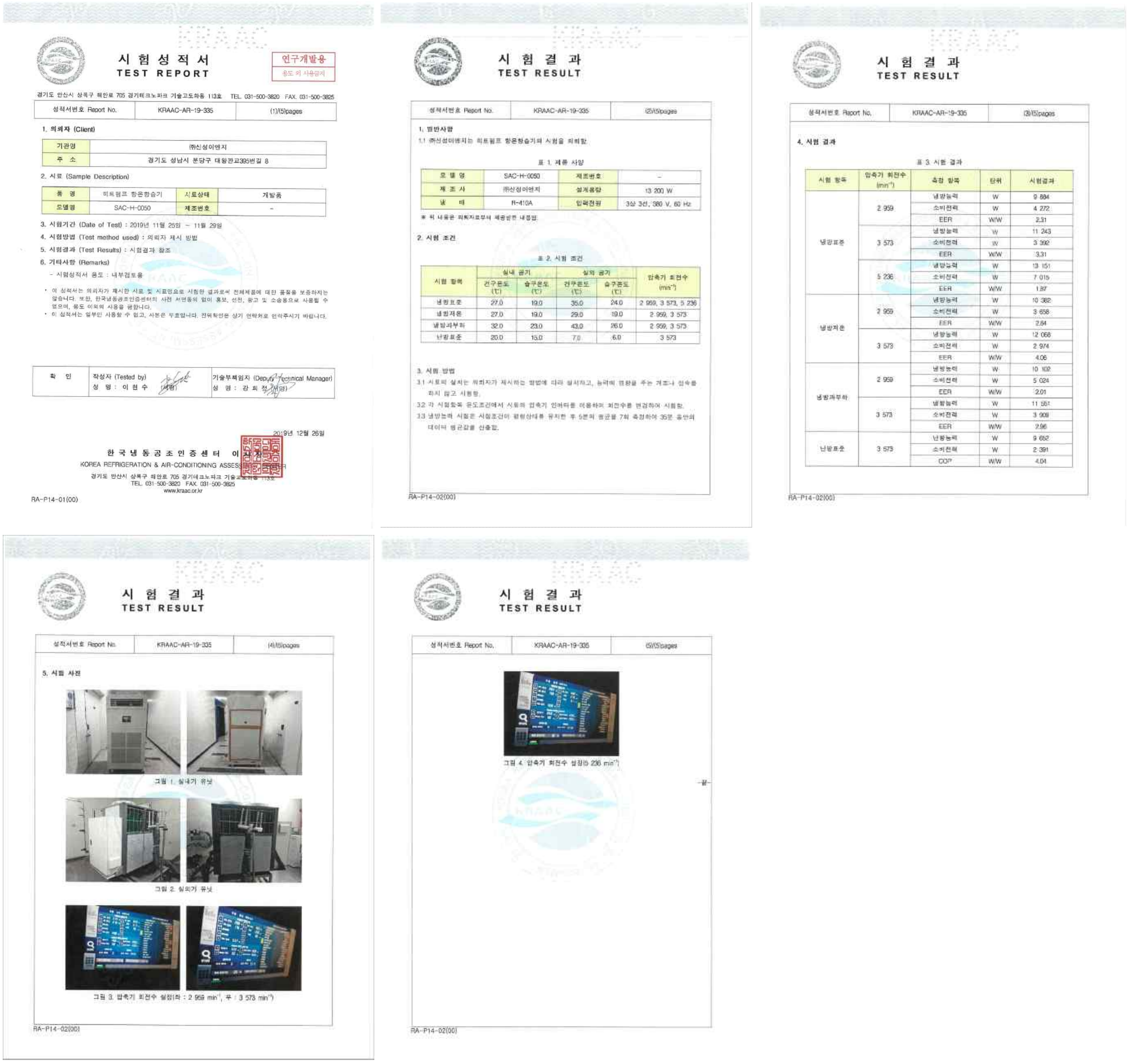
[기화식 가습소자 현열부하 습공기 선도표]

○ 공인기관(한국냉동공조인증센터) 평가 진행

- 에너지 절감형 항온항습기의 안정성 및 신뢰성 확보를 위하여 공인인증기관인 한국냉동공조인증센터에서 평가를 진행함
- 평가방법은 KS규격(KS C 9306 에어컨디셔너)을 참고하여 진행 하였으며 평가조건은 <표5>과 같으며 시험결과는 <그림 11> 시험성적서에 명시되어 있음
- 실외 온도가 43℃ 인 악조건에서도 평가를 진행하여 내구성에 대한 신뢰성 또한 검증하였음
- 냉방 저온조건에서 실외 온도가 낮을 시 실외기 Fan 제어를 통하여 더 높은 EER을 보임을 확인 할 수 있음.
- <표 6>과 같이 냉방 능력에 따른 냉방표시 면적 기준에 의하여 정격 60Hz(약3600RPM) 기준 11,243.W 의 열량은 100m2 로 표기 가능하며 본 항온항습기 2대의 냉방면적은 200m2 이므로 50(165m2)평형에 적용이 가능함
- 평가결과 주요내용 정리는 <표 7>과 같으며 압축기 표준운전조건(60Hz , 3,600RPM)에서 항온항습기 고효율 인증 조건인 EER 2.7 을 초과하여 고효율 인증 조건은 만족함
- 본 에너지 절감형 항온항습기는 Heat Pump 기능으로써 난방기능이 가능함 따라서 난방 표준조건에서 9,652W 의 난방능력을 확인 할 수 있었음
- 다만 공인기관에서의 평가방법은 기존 압축기 기준(정격 60Hz 기준)의 평가방법이고 가변제어가 가능한 항온항습기는 별도의 시험방법 및 규격이 존재하지 않음

<table>
<tr><th rowspan="2">시험 항목</th><th colspan="2">실내 공기</th><th colspan="2">실외 공기</th><th rowspan="2">압축기 회전수 (min-1)</th></tr>
<tr><th>건구온도(℃)</th><th>습구온도(℃)</th><th>건구온도(℃)</th><th>습구온도(℃)</th></tr>
<tr><td>냉방표준</td><td>27.0</td><td>19.0</td><td>35.0</td><td>24.0</td><td>2,959 / 3,573 / 5,236</td></tr>
<tr><td>냉방저온</td><td>27.0</td><td>19.0</td><td>29.0</td><td>19.0</td><td>2,959 / 3,573</td></tr>
<tr><td>냉방과부하</td><td>32.0</td><td>23.0</td><td>43.0</td><td>26.0</td><td>2,959 / 3,573</td></tr>
<tr><td>난방표준</td><td>20.0</td><td>15.0</td><td>7.0</td><td>6.0</td><td>3,573</td></tr>
</table>

[공인기관 시험 조건]



시 험 성 적 서
TEST REPORT

연구개발용
용도 외 사용금지

경기도 안산시 상록구 해안로 705 경기테크노파크 기술고도화동 113호 TEL. 031-500-3820 FAX. 031-500-3825

성적서번호 Report No.	KRAAC-AR-19-335	(1)/(5)pages

1. 의뢰자 (Client)

기관명	㈜신성이엔지
주 소	경기도 성남시 분당구 대왕판교395번길 8

2. 시료 (Sample Description)

품 명	히트펌프 항온항습기	시료상태	개발품
모델명	SAC-H-0050	제조번호	-

3. 시험기간 (Date of Test) : 2019년 11월 25일 ~ 11월 29일
4. 시험방법 (Test method used) : 의뢰자 제시 방법
5. 시험결과 (Test Results) : 시험결과 참조
6. 기타사항 (Remarks)
- 시험성적서 용도 : 내부검토용

확 인	작성자 (Tested by) 성 명 : 이 현 수 (서명)	기술부책임자 (Deputy Technical Manager) 성 명 : 강 희 정 (서명)

2019년 12월 26일

한 국 냉 동 공 조 인 증 센 터 이 사 장
KOREA REFRIGERATION & AIR-CONDITIONING ASSESSMENT CENTER
경기도 안산시 상록구 해안로 705 경기테크노파크 기술고도화동 113호
TEL. 031-500-3820 FAX. 031-500-3825
www.kraac.or.kr

RA-P14-01(00)

시 험 결 과
TEST RESULT

성적서번호 Report No.	KRAAC-AR-19-335	(2)/(5)pages

1. 일반사항

표 1. 제품 사양

모 델 명	SAC-H-0050	제조번호	-
제 조 사	㈜신성이엔지	설계용량	13 200 W
냉 매	R-410A	입력전원	3상 3선, 380 V, 60 Hz

2. 시험 조건

표 2. 시험 조건

시험 항목	실내 공기 건구온도 (℃)	실내 공기 습구온도 (℃)	실외 공기 건구온도 (℃)	실외 공기 습구온도 (℃)	압축기 회전수 (min^{-1})
냉방표준	27.0	19.0	35.0	24.0	2 959, 3 573, 5 236
냉방저온	27.0	19.0	29.0	19.0	2 959, 3 573
냉방과부하	32.0	23.0	43.0	26.0	2 959, 3 573
난방표준	20.0	15.0	7.0	6.0	3 573

3. 시험 방법

RA-P14-02(00)

시 험 결 과
TEST RESULT

성적서번호 Report No.	KRAAC-AR-19-335	(3)/(5)pages

4. 시험 결과

표 3. 시험 결과

시험 항목	압축기 회전수 (min^{-1})	측정 항목	단위	시험결과
냉방표준	2 959	냉방능력	W	9 884
		소비전력	W	4 272
		EER	W/W	2.31
	3 573	냉방능력	W	11 243
		소비전력	W	3 392
		EER	W/W	3.31
	5 236	냉방능력	W	13 151
		소비전력	W	7 015
		EER	W/W	1.87
냉방저온	2 959	냉방능력	W	10 382
		소비전력	W	3 658
		EER	W/W	2.84
	3 573	냉방능력	W	12 068
		소비전력	W	2 974
		EER	W/W	4.06
냉방과부하	2 959	냉방능력	W	10 102
		소비전력	W	5 024
		EER	W/W	2.01
	3 573	냉방능력	W	11 551
		소비전력	W	3 908
		EER	W/W	2.96
난방표준	3 573	난방능력	W	9 652
		소비전력	W	2 391
		COP	W/W	4.04

RA-P14-02(00)

시 험 결 과
TEST RESULT

성적서번호 Report No.	KRAAC-AR-19-335	(4)/(5)pages

5. 시험 사진

그림 1. 실내기 유닛

그림 2. 실외기 유닛

그림 3. 압축기 회전수 설정(좌 : 2 959 min^{-1}, 우 : 3 573 min^{-1})

RA-P14-02(00)

시 험 결 과
TEST RESULT

성적서번호 Report No.	KRAAC-AR-19-335	(5)/(5)pages

그림 4. 압축기 회전수 설정(5 236 min^{-1})

-끝-

RA-P14-02(00)

[한국냉동공조인증센터 시험 성적서]

e) 정격 표시 냉방 능력 W에 따른 종류

구분	정격 표시 냉방 능력 W	표시 냉방 면적[a] m^2	구분	정격 표시 냉방 능력 W	표시 냉방 면적[a] m^2
1	1 000	8.1	21	8 100	65.9
2	1 200	9.8		이하, 구분은 일반 사무실용으로 적용함.	
3	1 400	11.4	22	8 300	75.5
4	1 600	13.0	23	9 000	81.8
5	1 800	14.6	24	9 500	86.4
6	2 000	16.3	25	10 000	90.9
7	2 300	18.7	26	11 000	100.0
8	2 500	20.3	27	12 000	109.1
9	2 800	22.8	28	13 000	118.2
10	3 000	24.4	29	14 500	131.8
11	3 200	26.0	30	16 000	145.5
12	3 600	29.3	31	17 500	159.1
13	4 000	32.5	32	20 000	181.8
14	4 700	38.2	33	21 000	190.9
15	5 200	42.3	34	23 000	209.1
16	5 500	44.7	35	26 000	236.4
17	6 000	48.8	36	29 000	263.6
18	6 500	52.8	37	30 000	272.7
19	7 000	56.9	38	32 000	290.9
20	7 200	58.5	39	35 000	318.2

[a] 냉방 면적은 냉방 능력이 8 100 W 이하인 제품은 공동 주택용으로 적용하여 단위 바닥 면적당의 냉방 부하를 123 W/m^2로 산출하고, 냉방 능력이 8 100 W를 초과하는 제품은 일반 사무실용으로 적용하여 단위 바닥 면적당의 냉방 부하를 110 W/m^2로 각각 산출한다.

[정격 표시 냉방능력에 따른 냉방능력 표시(KS C 9306 15page)]

시험 항목	압축기 회전수	측정 항목	단위	시험결과
냉방표준	2,959	냉방능력	W	9,884
		EER	W/W	2.31
	3,573	냉방능력	W	11,243
		EER	W/W	3,31
	5,236	냉방능력	W	13,151
		EER	W/W	1.87
냉방저온	2,959	냉방능력	W	10,382
		EER	W/W	2.84
	3,573	냉방능력	W	12,068
		EER	W/W	4.06
냉방과부하	2,959	냉방능력	W	10,102
		EER	W/W	2.01
	3,579	냉방능력	W	11,551
		EER	W/W	2.96
난방표준	3,573	난방능력	W	9,652
		COP	W/W	4.04

[공인기관 평가 결과 정리 표]

나. 50평형 식물공장 표준형 항온항습기 설계 및 라인업

○ 식물공장 50평형 표준형 항온항습기 설계 및 Line up 설계

- 50평형 식물공장 표준형 항온항습기 설계를 위하여 <표 8>과 같이 장비 용량선정을 위하여 50평형 건물내 발생할 수 있는 벽체손실 부하, 내부 발열부하, 인체부하 등을 고려한 부하계산표를 작성하였음
- 장비선정을 위한 부하계산 결과, 설치비, 장비제작 비용 등을 고려하여 15RT 급 항온항습기 적용이 가장 적절한 것으로 판단되어 표준형 항온항습기 용량으로 선정함
- 표준형 15RT 급 항온항습기 장비사양은 <표 9>과 같으며 주요 부품리스트는 <표 10>와 같음
- 이 외<그림13>과 같이 용량별(3, 5, 7.5, 10, 15 RT) 항온항습기 용량 Line up 설계를 진행하여 다양한 환경의 식물공장에서 항온항습기를 적용할 수 있도록 하였고 용량별 장비 사양은 <표 11>과 같음
- 표준형 항온항습기는 에너지절감형과 달리 난방기능 및 가변부하제어기능은 없고, 3way valve를 이용한 폐열회수 기능은 적용되었으며 1차년도 환경평가 결과를 반영하여 가습기는 별도로 적용하지 않음

구분		사양 부하계산	비고
벽체손실	공간 사이즈	14,000 x 11,000 x 4,000 H	- 여름철 실외 조건 : 30.3℃ , RH 72.6% - 겨울철 실외 조건 : -12.8℃, RH 74% - 4 방향(동서남북) 외벽 기준 - 지하 1층 없는 일반 바닥 기준 적용 - 외벽 열 관류율 : 0.55 kcal/hm^{2}K - 바닥 열 관류율 : 0.97 kcal/hm^{2}K
	외벽	2,991 kcal/h [422(북)+789(동)+826(남)+954(서)]	
	지붕	3,592 kcal/h	
	바닥	2,338 kcal/h	
내부부하	LED 조명	19,023 kcal/h	- LED 부하 : 1Bay 당 288 Bar 총 4 Bay 1bar 당 24 W 기준 - 펌프 발열량은 내부발열 소비전력과 동일하게 선정
	내부 발열(펌프등)	258 kcal/h	
인체부하	작업자	378 kcal/h	작업자 1인당 부하 : 189(현열 103 + 잠열 86) kcal/h -작업자 2인 기준
안전율		15%	- Total 부하 합 : 28,580 kcal/h 에 안전율 15% 추가
Total 최종 부하계산 결과		32,867 kcal/h	- Total 냉방부하 10.86 RT
장비용량산정	표준 항온항습기	15 RT 급 항온항습기 1대	- 에너지 절감형은 BLDC 압축기 적용 - 대당 4.5~6.5RT 가변 제어로 최대 13RT 까지 커버
	에너지 절감형 항온항습기	5RT 급 항온항습기 2대	

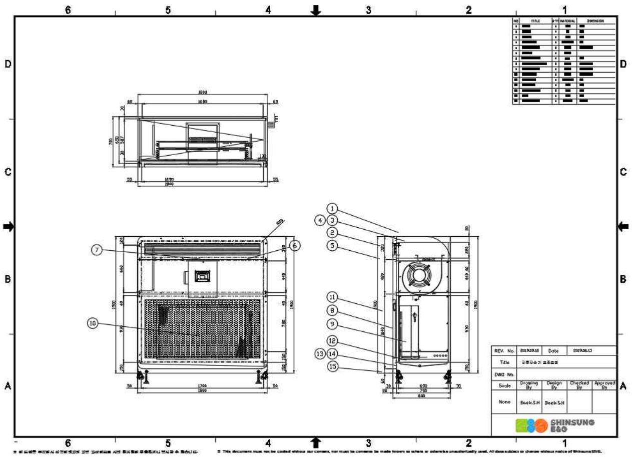
[50평형 식물공장 장비용량 선정 근거]

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th>사 양</th><th>비 고</th></tr>
<tr><th colspan="2">항온항습기 실내기 사양</th></tr>
<tr><td colspan="2">설치수량</td><td colspan="2">1대</td></tr>
<tr><td colspan="2">처리열량</td><td>46,440 kcal/h</td><td>- Eva Temp: 5℃
- Cond Temp : 40 ℃
- 냉매 : R-410a</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비 사이즈</td><td colspan="2">Casing : 1,800 x 800 x 1,900H
W(mm) x L(mm) x H(mm)</td></tr>
<tr><td colspan="2">전원사양</td><td colspan="2">3상 3선식, 380V, 60Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Dx
Coil</td><td>Tube size</td><td>5/8”</td><td rowspan="4">- 열교환기 열량 45,726 kcal/h
- 차압 : 10mmAq</td></tr>
<tr><td>Pass</td><td>18</td></tr>
<tr><td>Row</td><td>2 row</td></tr>
<tr><td>Fin</td><td>4.3 fin/cm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Reheat
Coil</td><td>Tube size</td><td>3/8”</td><td rowspan="4">- 열교환기 열량 24,690 kcal/h
- 차압 : 5mmAq
- △T = 5℃</td></tr>
<tr><td>Pass</td><td>18</td></tr>
<tr><td>Row</td><td>2</td></tr>
<tr><td>Fin</td><td>3.9 fin/cm</td></tr>
<tr><td>실내기</td><td>처리풍량</td><td>126 CMM</td><td>- 환기횟수 15회 기준 121.3 CMM</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fan</td><td>정압</td><td>25 mmAq</td><td>- 정압선정 : 5mmAq(Pre Filter) + 10mmAq(Dx) + 5mmAq(Reheat) + 5mmAq(여유율)</td></tr>
<tr><td>팬 소비전력</td><td>2 kW x 1EA</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">실외기</td><td>장비 사이즈</td><td>Casing : 1,860 x 935 x 1,704H
(제어판넬 750 x 280 x 1,200H)</td><td rowspan="3">- 실외기 설치 위치 별도
- 전원사양 : 실내기 동일
- 제어판넬 포함</td></tr>
<tr><td>실외기 풍량</td><td>380 CMM</td></tr>
<tr><td>실외기 펜 출력</td><td>0.75 kW x 2EA</td></tr>
<tr><td>Filter Size</td><td>Pre filter</td><td colspan="2">795 x 1,600 x 10t x 1EA</td></tr>
</table>

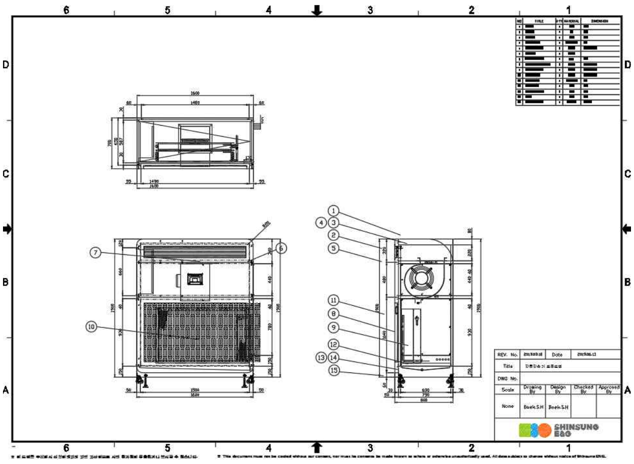
<표 9> 50평형 표준형 항온항습기 장비 사양

No.	항목	사양	Maker	수량	비고
1	압축기	ZP182KCE	코플랜드	1	
2	유분리기	15 HP	경안써머텍	1	
3	3way valve	MTW-9-5ODF-20’-s	paker	1	
4	4 way valve	-	삼화		미적용
5	팽창밸브	TGE 10 - 12.5	댄포스	1	감온식
6	필터드라이에어	DML 167S	댄포스	1	
7	체크밸브	NRVH 22	댄포스	1	
8	솔밸브	EVR 18 v2	댄포스	4	
9	수액기	KPT-1500H	경안써머텍	1	
10	실내기 Fan	SF 200 DD	우진실업	1	
12	압력스위치	DPC-HL	그린시스템	1	
13	온습도 센서	SHX-DL-V3-T5-AP	승일전자	1	
14					
15	메인보드	SHDDC-M2-NOST	승일전자	1	
16	터치스크린	THCL07	승일전자	1	
17	압축기 드라이버	INB35-SC##	승일전자	1	
18	압력트랜스미터	ycqc02l11	삼화	1	

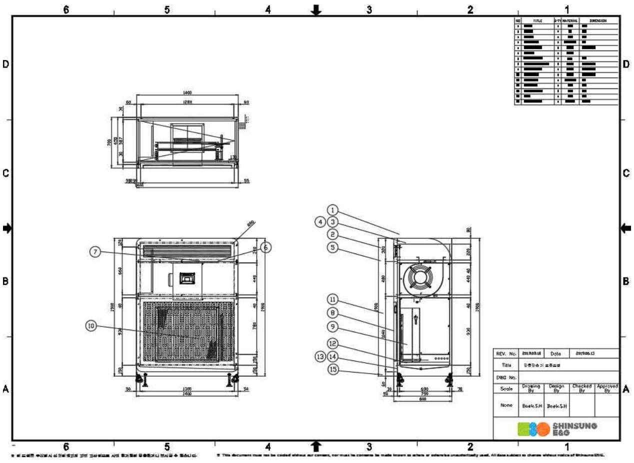
[표준형 항온항습기 주요 부품 List]



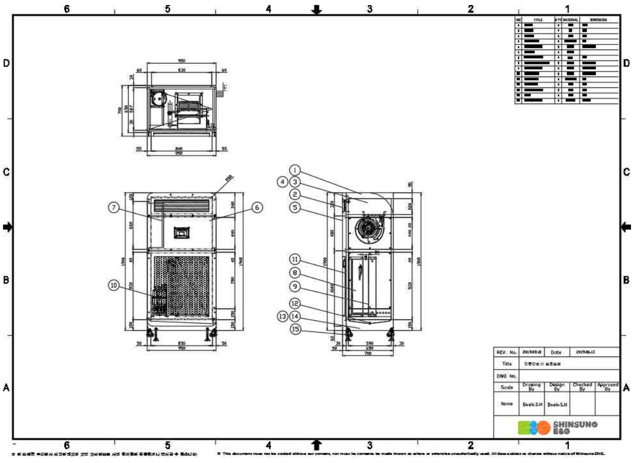
(a) 15RT 표준형 실내기 외형도



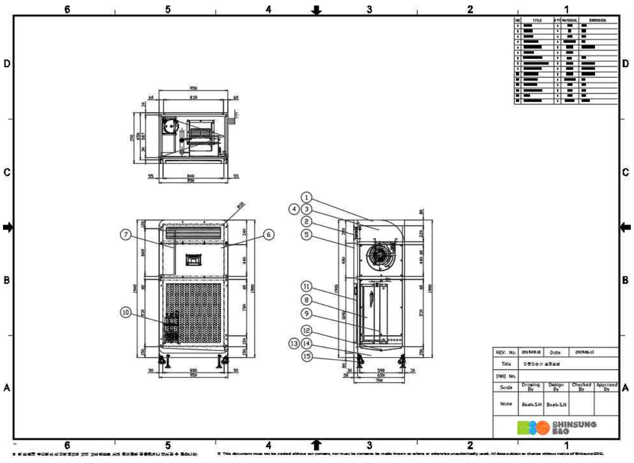
(b) 10RT 표준형 실내기 외형도



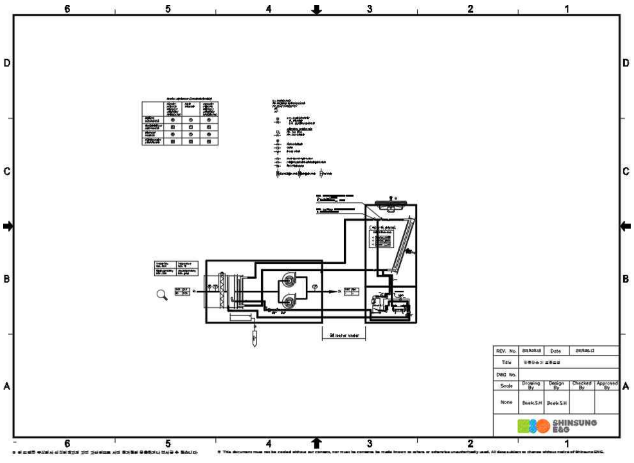
(c) 7.5 RT 표준형 실내기 외형도



(d) 5RT 표준형 실내기 외형도



(e) 3RT 표준형 실내기 외형도



(f) 표준형 항온항습기 P&ID

[표준형 항온항습기 Line up 실내기 외형설계 도면]

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th colspan="5">사 양</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>SAC-N-0030</th><th>SAC-N-0050</th><th>SAC-N-0075</th><th>SAC-N-0100</th><th>SAC-N-0150</th></tr>
<tr><td colspan="2">처리열량</td><td>9,374 kcal/h
(3RT)</td><td>16,254 kcal/h
(5RT)</td><td>21,242 kcal/h
(7.5RT)</td><td>26,660 kcal/h
(10RT)</td><td>46,440 kcal/h
(15RT)</td><td>- Eva Temp: 5℃
- Cond Temp : 40 ℃
- 냉매 : R-410a</td></tr>
<tr><td colspan="2">장비 사이즈
W(mm) x L(mm) x H(mm)</td><td>850 x 700 x 1,800H</td><td>950 x 700 x 1,900H</td><td>1,400 x 800 x 1,900H</td><td>1,600 x 800 x 1,900H</td><td>1,800 x 800 x 1,900H</td><td>Casing size</td></tr>
<tr><td colspan="2">전원사양</td><td colspan="6">3상 3선식, 380V, 60Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="4">증발기</td><td>Tube size</td><td colspan="5">5/8”</td><td rowspan="4">입구조건
· T = 24 ℃
· RH = 80%</td></tr>
<tr><td>Pass</td><td>14</td><td>20</td><td>18</td><td>18</td><td>16</td></tr>
<tr><td>Row</td><td>4</td><td>6</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr>
<tr><td>Fin</td><td>5.5 fin/cm</td><td>4.3 fin/cm</td><td>5.1 fin/cm</td><td>4.7 fin/cm</td><td>2.8 fin/cm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">재열기</td><td>Tube size</td><td colspan="5">3/8”</td><td rowspan="4">· △T = 5℃
· Reheat Coil 기준</td></tr>
<tr><td>Pass</td><td>16</td><td>20</td><td>18</td><td>18</td><td>16</td></tr>
<tr><td>Row</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td>Fin</td><td>3.9 fin/cm</td><td>3.9 fin/cm</td><td>3.9 fin/cm</td><td>3.9 fin/cm</td><td>3.9 fin/cm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">실내기
Fan</td><td>처리풍량</td><td>30 CMM</td><td>56 CMM</td><td>82 CMM</td><td>102 CMM</td><td>126 CMM</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>정압</td><td colspan="5">25 ~ 30 mmAq</td></tr>
<tr><td>팬 소비전력</td><td>0.5 kW x 1EA</td><td>0.75 kW x 1EA</td><td>1.1 kW x 1EA</td><td>1.5 kW x 1EA</td><td>2 kW x 1EA</td></tr>
<tr><td rowspan="3">실외기</td><td>장비 사이즈</td><td>1,240 x 600 x 1,413H</td><td>1,330 x 790 x 1,453H</td><td>1,330 x 790 x 1,453H</td><td>1,660 x 840 x 1,653H</td><td>1,860 x 935 x 1,704H</td><td>제어판넬
(750 x 280 x 1,200H)</td></tr>
<tr><td>실외기 풍량</td><td>80 CMM</td><td>140 CMM</td><td>140 CMM</td><td>280 CMM</td><td>380 CMM</td><td></td></tr>
<tr><td>실외기 펜 출력</td><td>0.1 kW x 2EA</td><td>0.2 kW x 2EA</td><td>0.2 kW x 2EA</td><td>0.4 kW x 2EA</td><td>0.75 kW x 2EA</td><td></td></tr>
</table>

[항온항습기 표준형 Line up 설계]

다. 식물공장 재배사 유해가스 평가, 온•습도 실측평가 및 CFD 기류 시뮬레이션

○ 신규 구축 식물공장 재배사 GC-MS 분석 평가

- 대기 중 VOCs는 식물 생장에 영향을 미칠 수 있는 요인으로 건물의 페인트, 벽지, 바닥 등 건축 자재 뿐만 아니라 로션, 옷 등 사람을 통해서도 배출됨
- 2 차년도 평가에서는 신축 식물공장 준공 전으로, 밀폐되어 있지 않은 공간이므로 VOCs가 검출되지 않았음
- 따라서 현재 신축 식물공장이 운영되고 있는 상황에서, 식물재배 되는 공간 내 발생 또는 외부유입 되는 VOCs를 분석할 필요가 있음
- <그림 13>은 VOCs 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비로 고체흡착관(Supelco Tenax TA tube)을 펌프(MP-Σ30KN, SIBATA, Japan)에 연결하여 0.1L/min으로 10분간 포집 한 후 gas chromatograph-mass(GC-MS) 분석을 하였음

MP-Σ30　　Adsorption

항목		내용
흡착제		Tenax-TA
샘플러	Maker	SIBATA MP-Σ30
	유량/시간	100ml/min 10ml/min
	총샘플량	1.0L

(a) VOC 샘플링 장비

MS　　GC　　ATD

장비	내용
ATD	Turbo Matrix 650
GC	CLARUS 600
MS	CLARUS 600T MSD

(b) VOC 분석 장비

<그림 13> GC-MS, IC 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비\

- GC-MS 분석결과로, 신축 식물공장 설치 후 검출되는 VOCs는 관찰되지 않았으며, 설치 전 및 후 VOCs의 영향은 없는 것으로 보임.

<그림 14> GC-MS 분석 결과

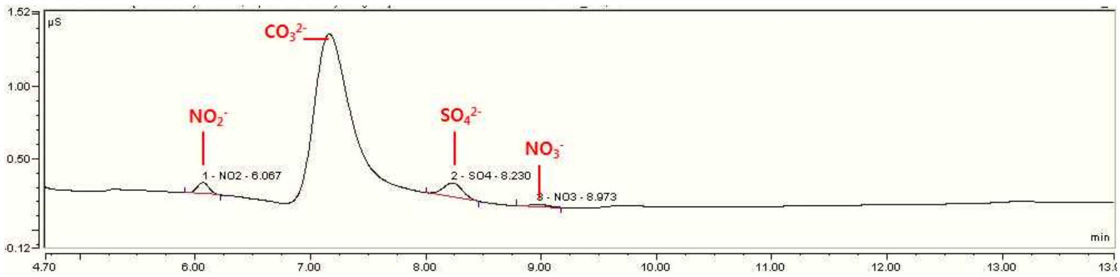
○ 신규 구축 식물공장 재배사 IC 분석 평가

- 대기 중에 존재하는 NH3, NOx 및 SOx 또한 VOCs와 마찬가지로 식물생장에 영향을 주는 인자로 신축 식물공장 설치 후 현장 농도 평가를 진행 하였고<그림 15>는 이온성 물질을 평가하기 위한 분석기 및 샘플링 도구로 3차 증류수 100mL가 담긴 시료채취관(impimger)에 펌프(MP-Σ300, SIBATA, Japan)를 연결하여 2L/min으로 2시간 포집 한 후 Ion Chromatograph(IC)분석을 진행함

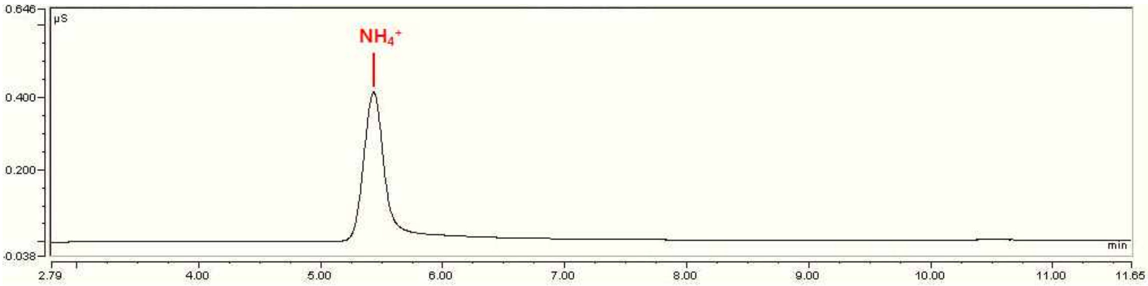
Impinger　　ICS2000　　DX600

장비	내용
음이온	ICS2000
양이온	DX600
시료주입	AS40 Automated Sampler

IC 평가를 위한 샘플링 및 분석 장비



(a)음이온



(b)양이온

<그림 16> IC 분석 결과

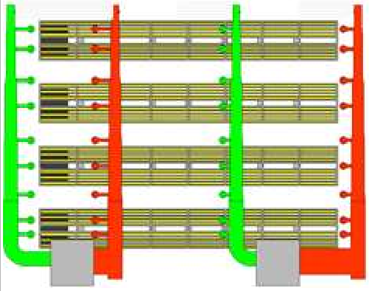
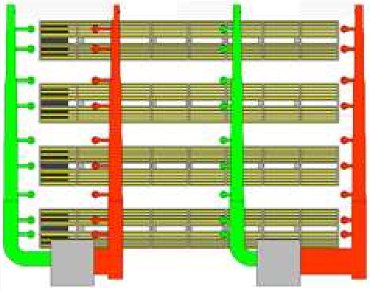
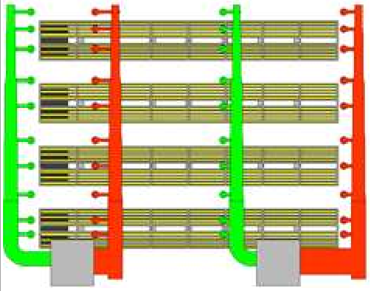
- <그림 16>의 IC 평가 결과 식물공장 내 이온성 가스 중 음이온[NO2; 0.34 ppb, SO42-; 0.35 ppb, NO3-; 0.10 ppb], 양이온[NH4+; 10.5 ppb]가 검출되었음. 검출된 물질들은 일반 대기 중에 존재하는 농도 수준으로 분석 됨

○ 스마트팜 실측 및 CFD 기류 시뮬레이션 평가 결과

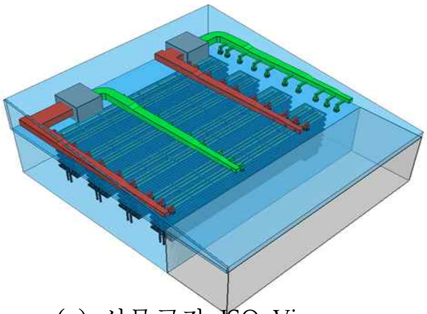
- 1, 2차년도 기류 시뮬레이션에서, 신규 건축한 50평 식물공장에 덕트 공조와 여러 대의 항온항습기를 적용한 해석을 진행함
- 3차년도 에서는 CFD 기류 시뮬레이션 해석을 통한 결과와 실측 평가를 비교하여 기류 시뮬레이션의 신뢰도를 높이는데 목표를 두었으며 이후 CFD 기류해석 시뮬레이션을 적극 활용하여 에너지 절감을 위한 풍량 감소 등의 다양한 방법 등을 CFD 시뮬레이션을 통하여 결과를 확인 할 수 있음
- 3차년도 기류시뮬레이션에서는 실제 식물공장 항온항습기 설치사항을 반영하여 사각 디퓨저에서 원형 디퓨저로 변경되었으며, 실제 덕트 배치간격 등을 해석에 반영함
- 해석에는 상용 프로그램인 ANSYS Fluent 사용하였으며, <그림 17>과 같이 식물공장 모델링을 진행함
- Duct에서 분출되는 기류의 유동해석을 위한 지배 방정식으로 질량보존 방정식과 운동량 보존 방정식을 적용하였으며, 난류 모델은 Realizable k-ε model이며, 운동량 보존 방정식의 대류항, 소산항은 1차 풍상차분법을 적용함
- 속도와 압력의 연성은 SIMPLE algorithm을 적용하였으며, 벽에 의한 영향을 고려하기 위해 Standard Wall Function을 적용함
- 식물공장 재배사의 실제 크기인 가로 13m 세로 14m 높이 5.8m를 반영하였으며, 약 23,410,000개의 정렬격자를 사용하였음
- 총 3가지의 Case로 해석을 진행하였으며, <표 12>과 같이 현재 운전조건 및 풍량을 줄

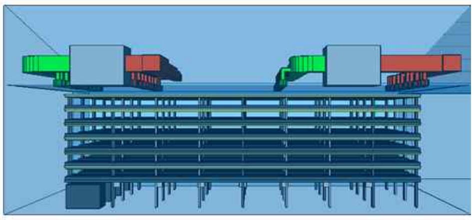
였을 경우와 덕트 토출구의 개수를 증가 하였을 경우의 기류 분포를 확인함

- 식물공장 유동해석 결과는 <그림 18>과 같으며 현재 운전조건(Case 1)의 식물공장 평균 풍속은 0.17m/s, 속도 표준 편차 0.24m/s 평균 온도 21.4℃결과가 도출되었고, 식물성장에 적합한 풍속 0.03m/s~0.1m/s와 유사함
- <그림 19>와 같이 SA 풍량을 줄였을 경우(Case 2)의 식물공장 평균 풍속은 0.12m/s, 속도 표준 편차 0.22m/s 평균 온도 21.8℃ 결과가 도출되었고, 식물성장에 적합한 풍속 0.03m/s~0.1m/s 와 유사함
- <그림 20>에서 덕트 토출구의 개수를 증가하였을 경우(Case 3)의 식물공장 평균 풍속은 0.17m/s, 속도 표준 편차 0.30m/s 평균 온도 21.3℃결과가 도출되었고, 식물성장에 적합한 풍속 0.03m/s~0.1m/s 와 유사함
- 식물공장 유동해석 결과, 풍량을 37.5% 감소시킨 경우(Case 2) 평균 풍속은 약 30% 감소하고 온도는 2% 상승하는 것으로 나왔으며, 이를 통해 현재 운전조건에서 풍량을 37.5% 감소 시켜도 식물공장 전체의 온도 및 기류 균일할 것으로 판단됨
- 덕트 토출구의 개수를 증가시킨 경우(Case 3), 현재 운전조건과 평균 속도, 평균온도는 유사하나 속도 표준편차는 25% 증가하며, 이는 기류 균일도가 Case 1에 비해 좋지 않은 것으로 판단됨
- 실제 재배사에 적용된 바닥팬을 시뮬레이션에 적용 결과, 덕트에서 토출된 기류가 바닥 팬을 통해 상승기류를 생성하여 식물공장의 기류 균일도를 향상시킴을 확인함
- 식물공장의 온도분포 균일도 평가를 위하여 <그림 21>, <그림 22>과 같이 온도 센서를 설치하여 24시간 동안 식물공장 재배사의 온도 균일도 분포도를 측정하였음
- 센서는 T-type 열전대를 사용하였으며 동일위치에서 1m와 2m 가량 높이 2군데씩 총 9군데의 포인트에 총 18개의 온도센서를 설치하였음
- 온도 균일도 평가결과 및 CFD 기류해석을 통한 결과는 <표 13>과 같으며 평균온도는 실측 평가결과가 21.2℃ 기류해석결과가 21.3℃로 거의 동일한 결과를 나타냈으며 표준편차또한 실측평가가 0.28℃, 해석온도편차는 0.35℃로 0.07℃정도로 적은 차이를 보임 재배사 내부의 온도 골고루 잘 분포되고 있음을 나타냄
- 온도센서로 사용한 열전대 T-type 의 온도측정편차가 ±0.1℃임을 감안할 때 표준편차 0.07℃ 차이는 매우 적은차이 임을 알 수 있으며 기류해석 결과가 실제 식물공장내 기류를 잘 예측함을 알 수 있음
- 식물공장 내부에 설치된 공조기의 입구(RA측)과 출구(SA측)에 온습도 센서를 설치하여 식물공장 재배사 온습도 평가를 진행한 결과 <그림 23>과 같은 결과를 확인하였음
- 식물공장 재배사 내부 RA온도는 온도의 최대값 최소값 차가 1.37℃ 로 1.5℃ 이내의 편차를 보였으며 습도는 77.2%~89.5%의 습도를 유지 하였으며 SA 측 평균온도는 17.3℃로 측정됨

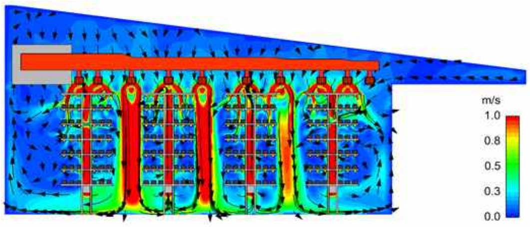
Case	#1	#2	#3
항온항습기 덕트 위치			
SA 대당 풍량 (CMH)	12,000	7,500	7,500
특징	현재운전조건	SA 풍량 37.5% 감소	덕트 도출구 증가(9EA→10EA)

[식물공장 Case 정리]

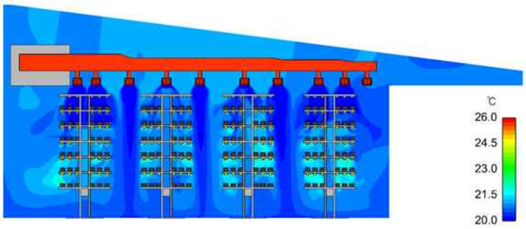

(a) 식물공장 ISO View


(b) 식물공장 측면 View

<그림 17> 식물공장 3D Modeling

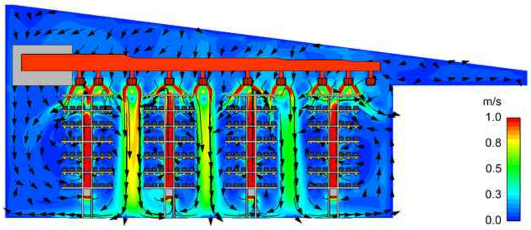


(a) 속도 분포

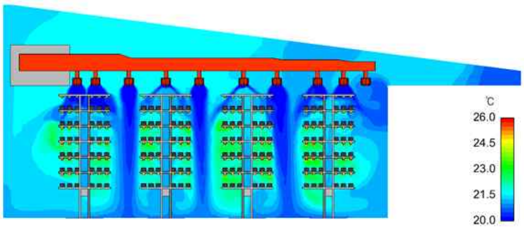


(b) 온도 분포

<그림 18> 식물공장 내부 풍속, 온도 Contour - 현재 운전조건(Case 1)

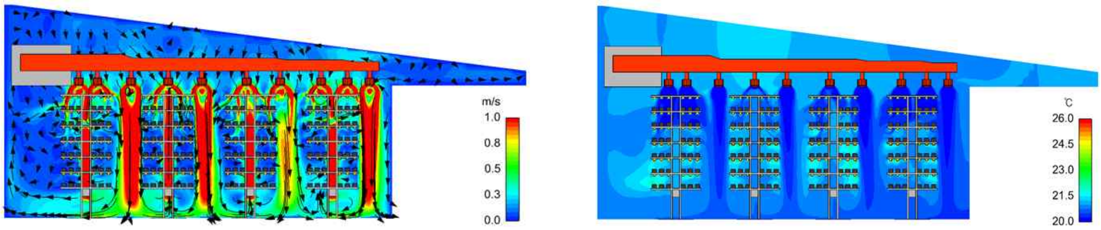


(a) 속도 분포



(b) 온도 분포

<그림 19> 식물공장 내부 풍속, 온도 Contour - SA 풍량 37.5% 감소(Case 2)

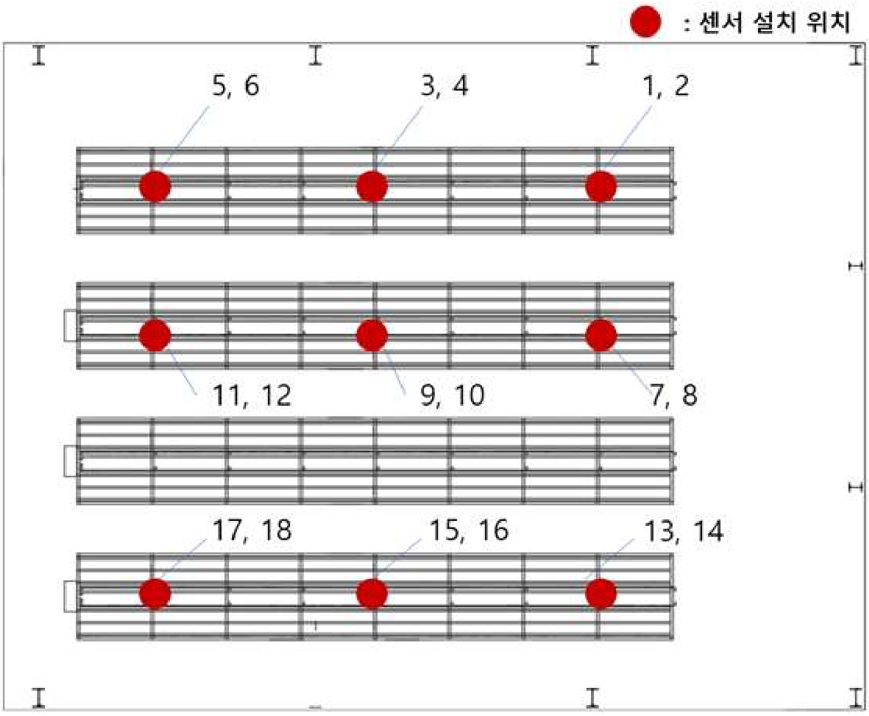


(a) 속도 분포　　　　　　　　　　(b) 온도 분포

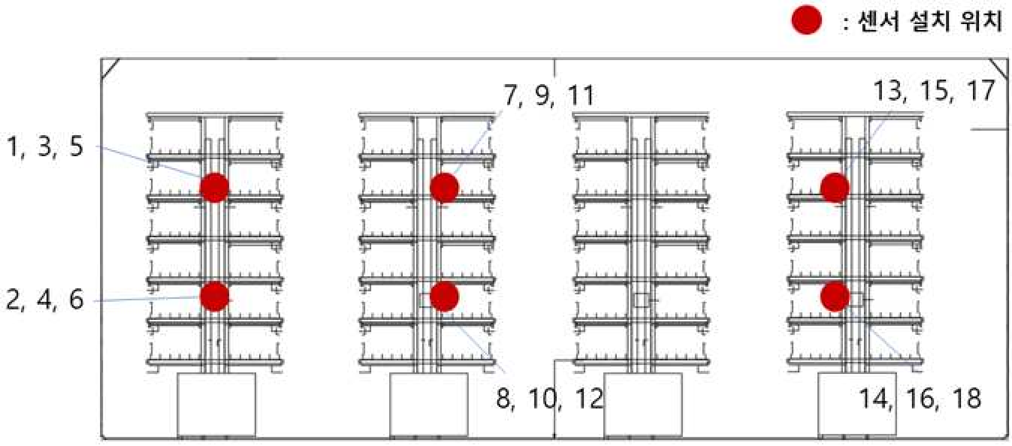
<그림 20> 식물공장 내부 풍속, 온도 Contour - 덕트 토출구 개수 증가(Case 3)

측정포인트	1	3	5	7	9	11	13	15	17	실측온도 표준편차
실측온도 (℃)	20.7	21.9	21.3	21.0	20.9	21.4	21.1	21.3	21.3	
CFD해석결과 온도(℃)	21.2	21.0	21.7	21.3	20.9	21.5	21.4	21.0	21.9	0.28℃
측정포인트	2	4	6	8	10	12	14	16	18	해석온도 표준편차
실측온도 (℃)	21.0	21.3	21.3	20.8	21.1	21.1	21.3	21.5	21.4	
CFD해석결과 온도(℃)	21.0	21.1	21.0	21.5	20.9	21.4	21.7	20.8	21.9	0.35℃

[식물공장 온도균일도 실측평가 및 CFD 해석결과 비교]

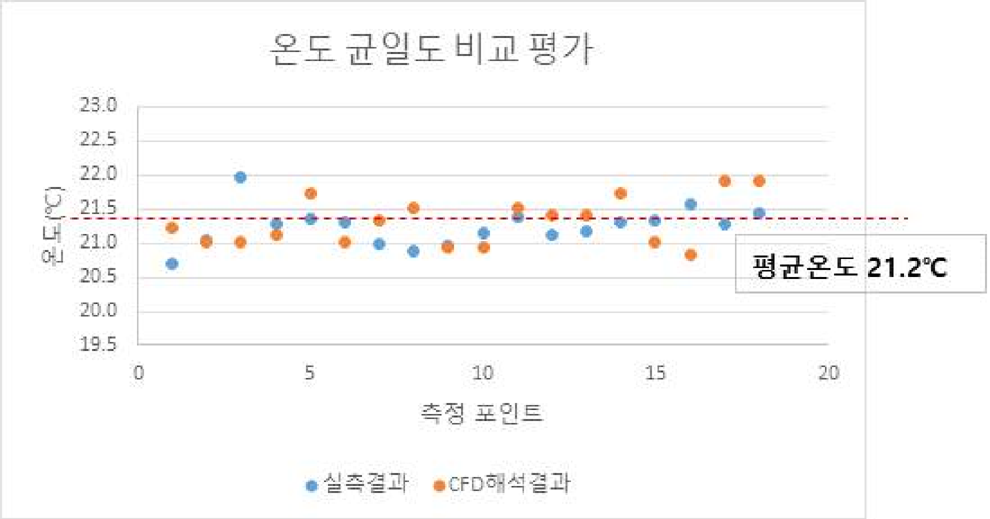


[식물공장 재배사 센서 설치 위치표시 평면도]



[식물공장 재배사 센서 설치 위치표시 정면도]

[식물공장 내부 온•습도 평가결과 그래프]

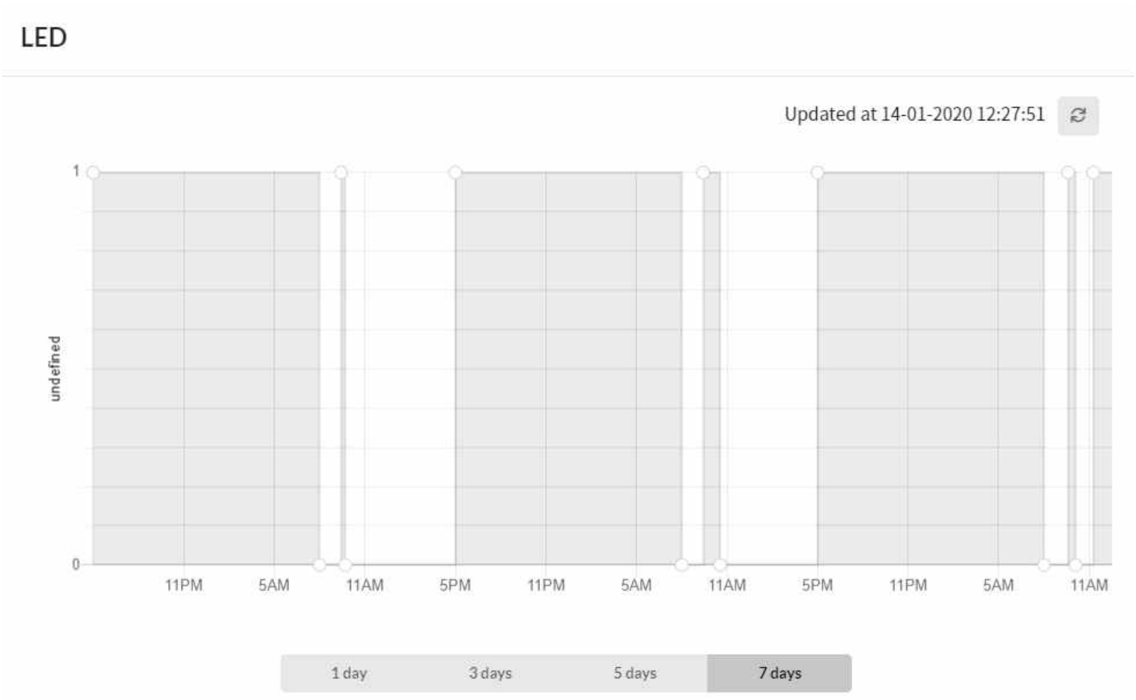


[식물공장 온도분포 균일도 실측평가 및 CFD 해석결과]

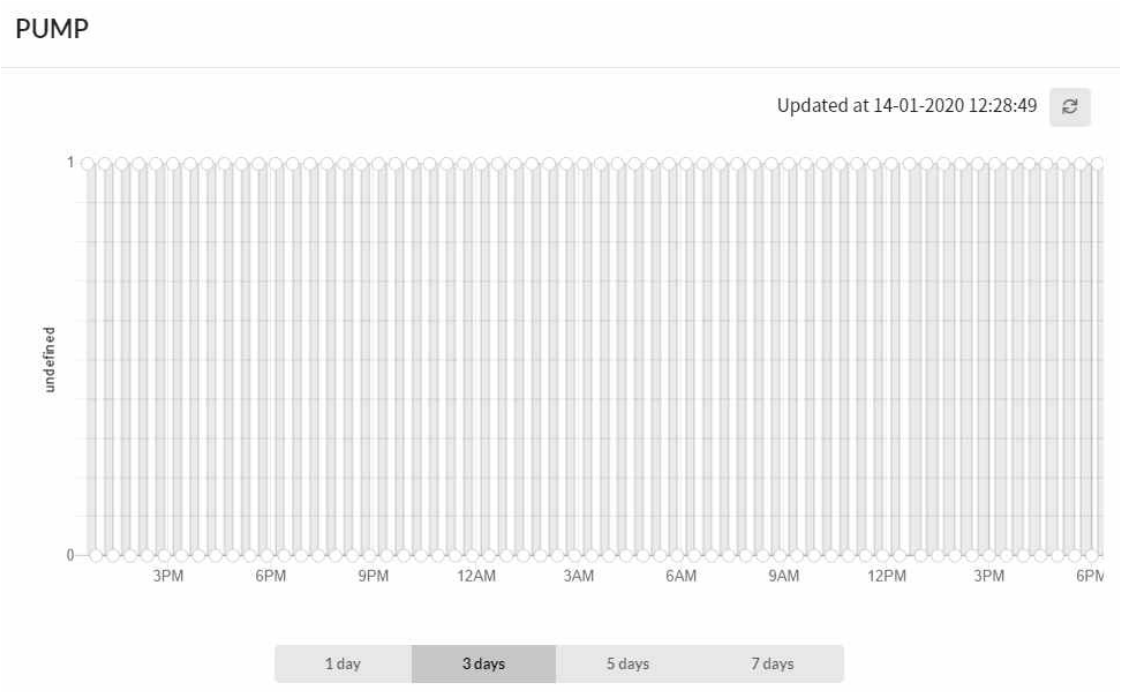
(4) 식물공장 환경과 전력 사용 데이터에 따른 자동화 제어시스템 구성

가. 식물 공장 환경 및 전력 사용 데이터 수집 시스템 개발

○ 액추에이터 ON/OFF에 대한 로깅 패킷 설계
○ 패킷 데이터 : 게이트웨이 이름, 맥어드레스, 채널 번호, 릴레이 상태, 이벤트 발생 시간
○ 로깅 패킷에 대한 절대 시간 타임 스탬프 적용
○ 적산 오퍼레이팅 타임에 대한 전력량 분석 알고리즘 개발
○ 전력 사용 데이터 그래프 모니터링 플랫폼 개발
○ 일자별(1,3,5,7) 그래프 모니터링 뷰어 개발
○ 그래프 포인트별 해당 값 및 이벤트 발생 시간 표기 기능 개발
○ last update 타임 분석 및 디스커넥션에 대한 알람 처리 루틴 개발



[LED 전력 사용 데이터 그래프 모니터링 플랫폼]

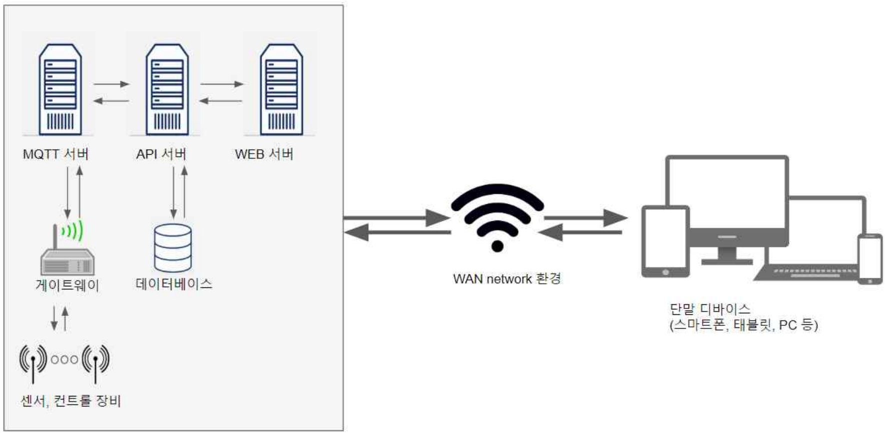


[PUMP 전력 사용 데이터 그래프 모니터링 플랫폼 개발]

나. 내/외부 서버 기능 분리를 통한 로컬 독립 운영 시스템 구축

- 내/외부 서버 기능 분리 및 독립 운영 서버 시스템 개발
- 내부 서버기능 정의 및 임베디드 보드 포팅
- 각 임베디드 보드 서버 별 환경 설정 및 기능 개발

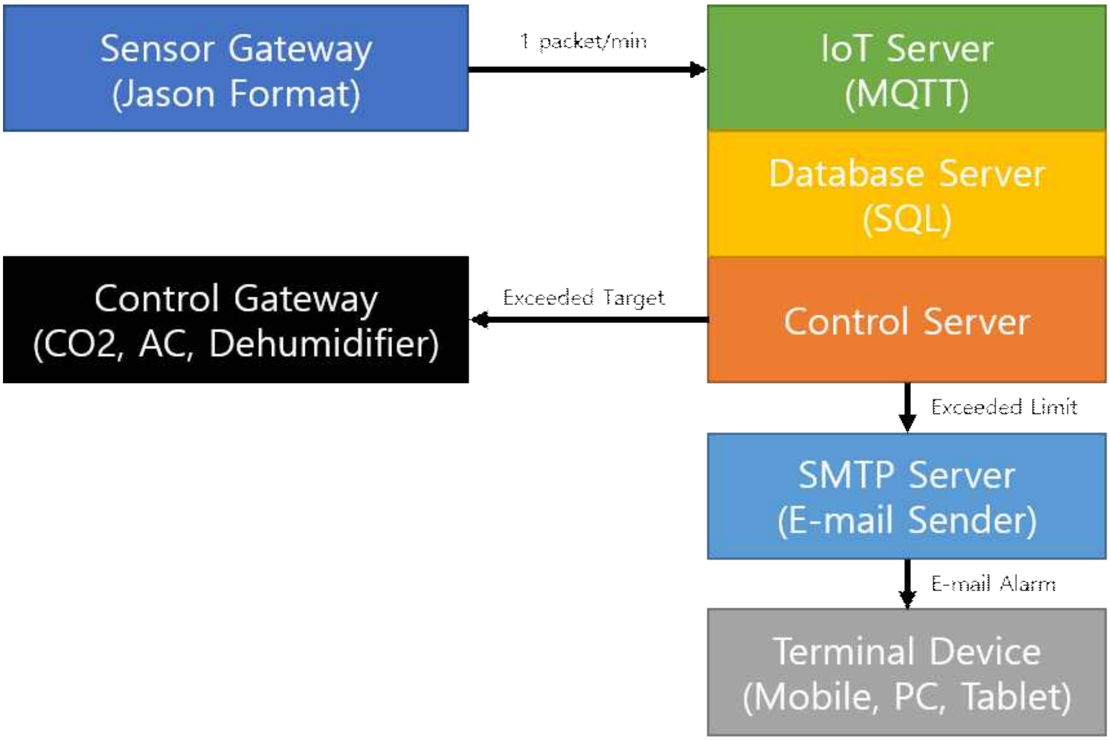
- Web Server : Front end Server로 브라우저에서 플랫폼을 볼 수 있도록 기능함
- Database : 각종 정보(게이트웨이 맥어드레스, 컨트롤 값, 센서 값, 로깅시간)을 보관
- Back-end Server : 자동 제어나 에러 발생시 처리 조건을 저장하고 관리함
- MQTT Brocker : 게이트웨이와 서버간 IoT 통신 기능 구현
- Camera Streaming Server : H.264 포맷을 디코딩하고 Web 플랫폼에서 볼 수 있도록 스트리밍 서비스를 구현



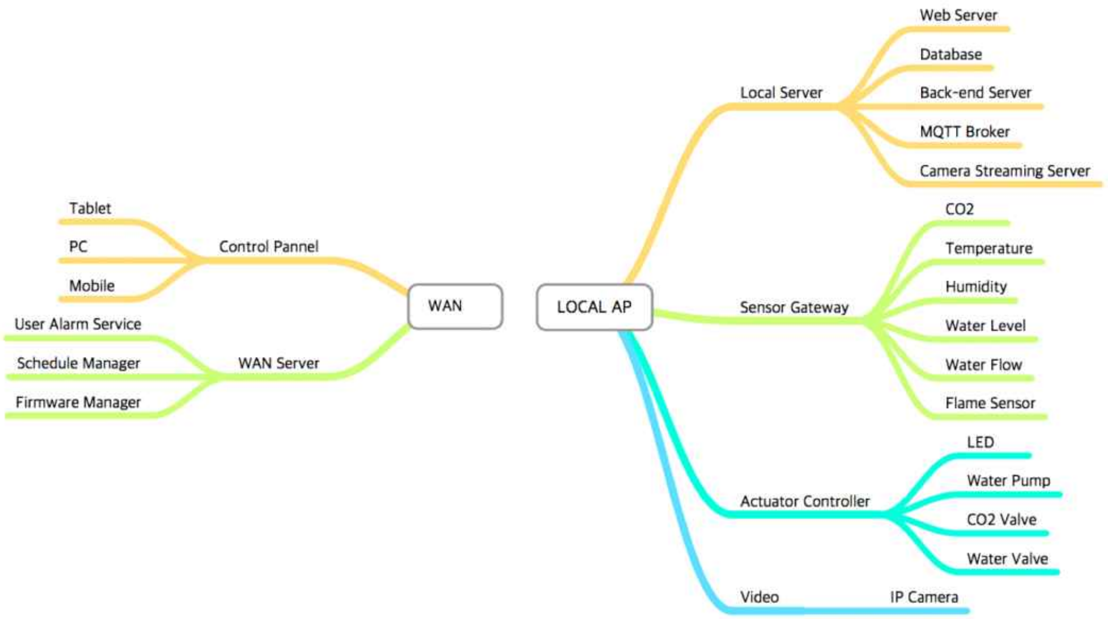
[식물공장 전용 서버 및 인터페이스 구성도]

- 외부 서버의 농장 내 비상 알람 서비스 기능 구현

- Server Disconnect : 로컬 서버와 외부 서버간 디스커넥트 알람
- Gateway Disconnect : 로컬 서버와 게이트웨이간 디스커넥트 알람
- High Temperature Detection : 농장 내 고열 감지 알람
- Exceed Target(Max/Min) Temperature : 설정 온도 초과 감지 알람
- Exceed Target(Max/Min) CO2 : 설정 CO2농도 초과 감지 알람
- Exceed Target(Max/Min) Humidity : 설정 습도 초과 감지 알람

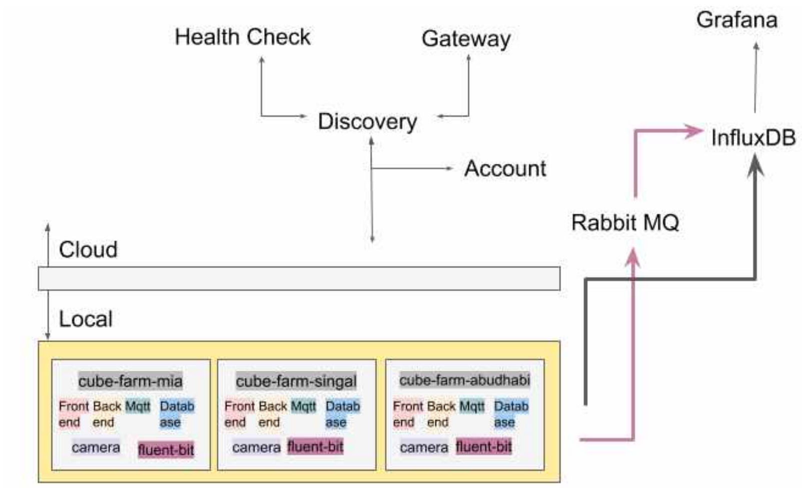


[원격관제 시스템의 비상알람 시스템 구성도]



[내/외부 서버 기능분리 및 식물공장용 IoT 시스템 구성 도식도]

○ Grafana를 이용한 외부 서버의 데이터 저장 및 통합 모니터링 기능 개발



[식물공장용 서버 사용 플랫폼 및 개발 구성 도식도]

○ 농장 외기 환경 수집 시스템 개발 및 내외기 열교환 시스템 구축

- 농장 외기 환경 수집 시스템 펌웨어 및 프로토콜 개발
- 농장 외기 환경 수집 시스템 mqtt 통신 패킷 설계
  - /sensors
  - {sensor_type : [string], sensor_version : [int], sensor_num : [int], sensor_val : [long], sensor_batt : [int], sensor_rssi : [5:0], res_time : [int]}
  - sensor_type[air_temp] - 단위(℃)
  - sensor_type[air_humid] - 단위(%)

- sensor_type[co2] - 단위(ppm)
- sensor_type[wind_speed] - 단위(m/s)
- sensor_type[wind_direction] - 단위[˚]
- sensor_type[air_pressure] - 단위[hPa]
- sensor_type[pm2_5] - 단위[μg/m^3]
- sensor_type[pm10] - 단위[μg/m^3]
- sensor_type[noise] - 단위[dB]
- sensor_type[light] - 단위[lux]
- sensor_type[ec] - 단위[dS/m]
- sensor_type[ph] - 단위[ ]
- sensor_type[water_temp] - 단위[℃]
- (option) sensor_type[soil_humid] - 단위[%]
- (option) sensor_type[soil_temp] - 단위[℃]

Comment	Unit	Measuring range	Resolution	Accuracy
온도	℃	-40℃~+60℃	0.1℃	±0.3℃
습도	%	0~100%Rh	0.1%Rh	±2%Rh
기압	hPa	10~1300hPa	0.1hPa	±1hPa
풍속	m/s	0~60m/s	0.1m/s	±0.3m/s(3%)
풍향	°	0~360°	1°	±3°
초미세먼지	ug/m3	0~1000ug/m3	0.3ug/m3	±10μg/m3
미세먼지	ug/m3	0~1000ug/m3	0.3ug/m3	±10μg/m3
소음	dB	30~130dB	A-weighted value	±1.5dB
조도	Lux	0~188000Lux	0.1Lux	±5F.S

[농장 외기 환경 수집 시스템 센서 리스트 및 사양]

○ 외기 환경 수집 센서 및 무선 게이트웨이 간 RS485 통신 회로 설계

	OUTDOOR_TEST		4분 전
↓	AIR_HUMID	35.2 %	방금 전
↓	AIR_PRESSURE	1013 hPa	방금 전
↓	AIR_TEMP	3.3 ℃	방금 전
↓	LIGHT	25343 Lux	방금 전
↓	NOISE	51.9 dB	방금 전
↓	PM10	30 ug/m3	방금 전
↓	PM2_5	22 ug/m3	방금 전
↓	WIND_DIRECTION	226 °	방금 전
↓	WIND_SPEED	7 m/s	방금 전

[농장 외기 환경 수집 센서 데이터 모니터링 화면]

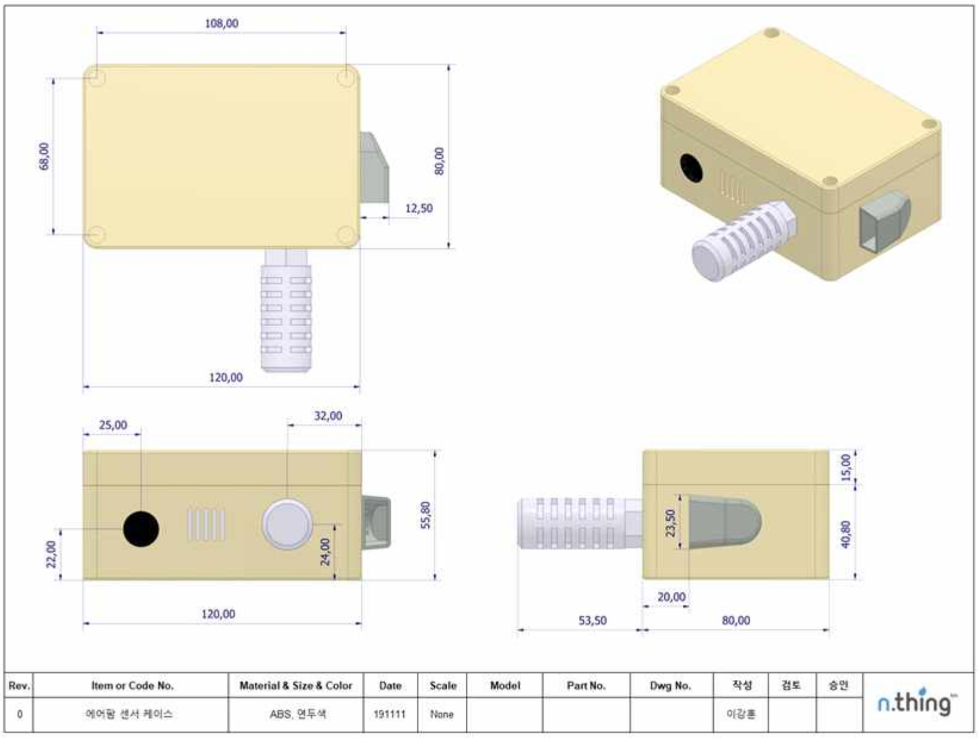
[농장 외기 환경 수집 센서 온도 데이터 그래프 모니터링 화면]

[외기 최고/최저 온도 시간 트래킹 및 온도 보상을 위한 LED 제어 시간 조정 루틴 적용]

○ 센서 및 재배기 컨트롤러 표준 사양서 작성

구분	사양	비고
설치 수량	2대	
사용 전압	5VDC	
소비 전류	450mA	
통신 방식	802.11n, TCP/IP	
Configuration Access Address	192.168.1.1	
전원 커넥터 사양	USB Type A	
사이즈 W(mm) x L(mm) x H(mm)	132.5x133.5x55.8	- 에어필터 포함 - 환풍구 포함
이산화탄소 측정 범위	0 to 10,000ppm	
이산화탄소 측정 오차 범위	±30ppm, ±5%	
대기 온도 측정 범위	-10°C to 85°C	
대기 온도 측정 오차 범위	±0.4°C	
대기 습도 측정 범위	0 to 95%	
대기 습도 측정 오차 범위	±5% RH	

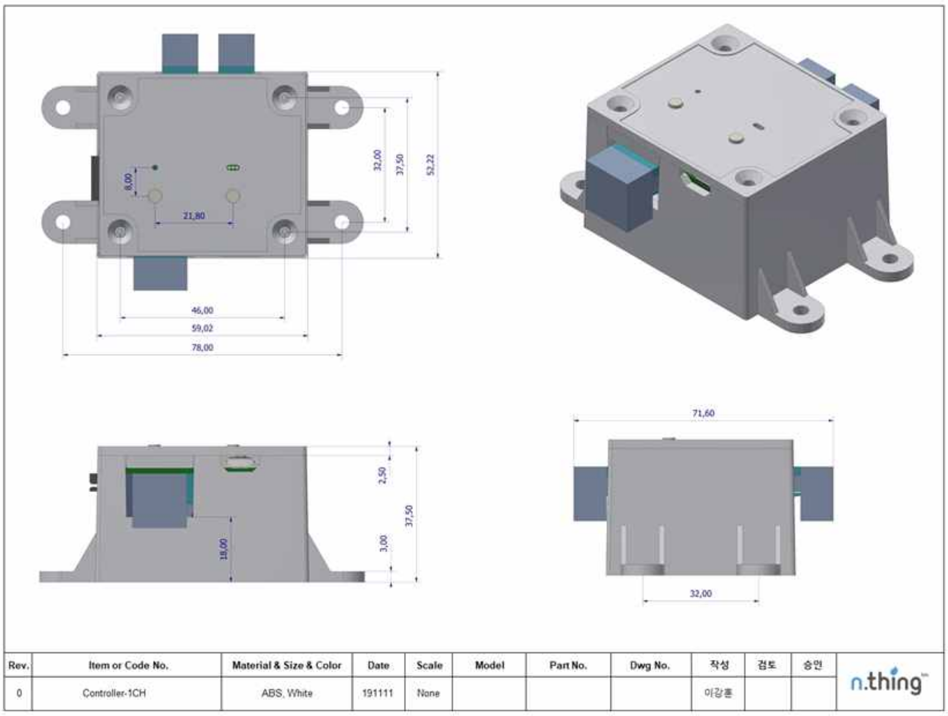
[공조 센서 표준 사양서]



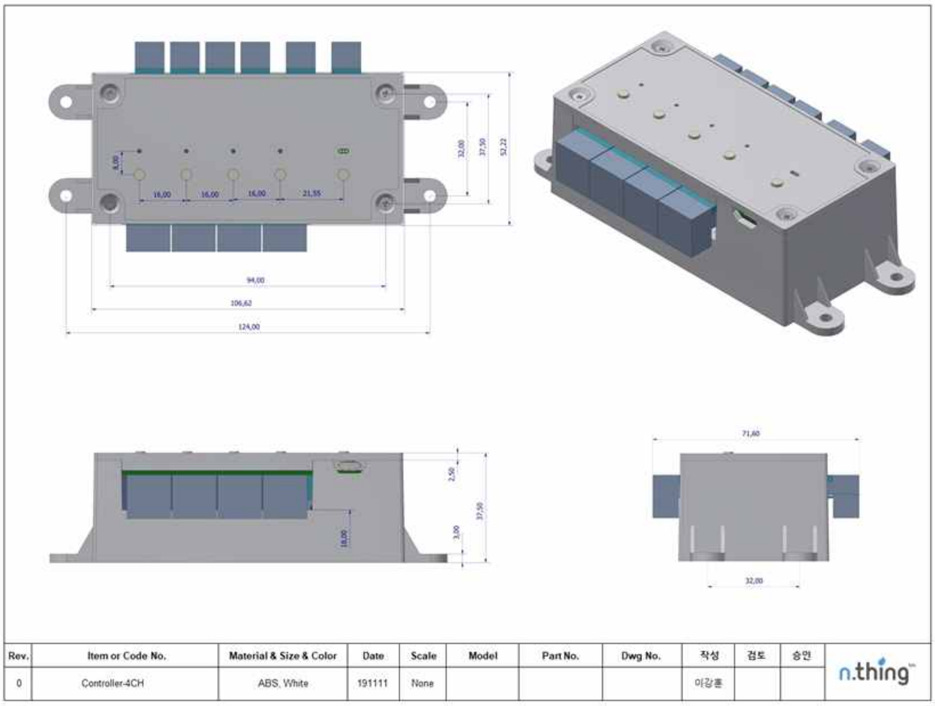
[공조 센서 외형도]

구분		사양	비고
설치 수량	1CH	2대	- 공조기 컨트롤용(2)
	4CH	8대	- 재배기 컨트롤용(8)
사용 전압		5VDC	
소비 전류		450mA	
통신 방식		802.11n, TCP/IP	
확장 인터페이스	1CH	UART	
Configuration Access Address		192.168.1.1	
전원 커넥터 사양		USB Micro Type B	
사이즈 W(mm) x L(mm) x H(mm)	1CH	88x52.22x37.5	- 외부 터미널 단자 제외
	4CH	134x52.22x37.5	- 외부 터미널 단자 제외

[재배기 컨트롤러(1CH/4CH) 표준 사양서]



[재배기 컨트롤러(1CH) 외형도]

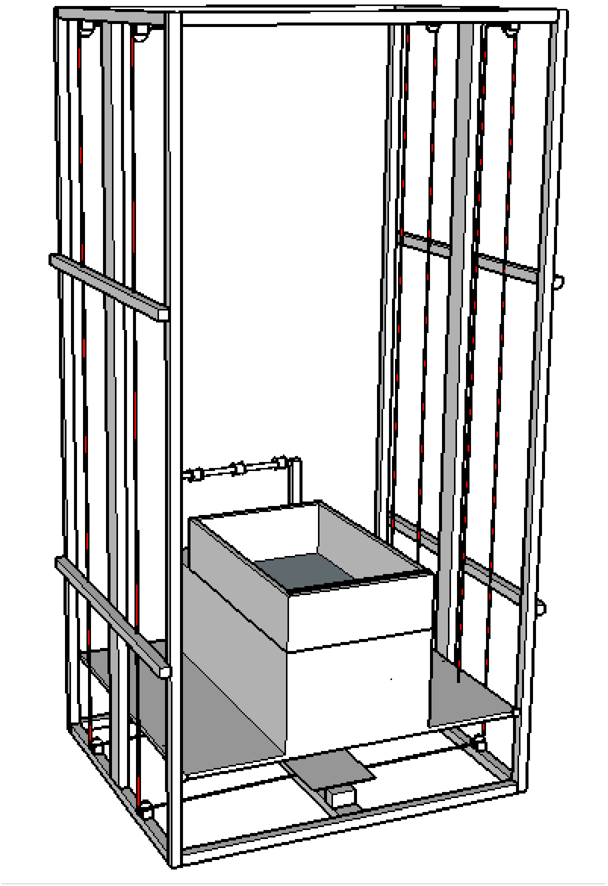


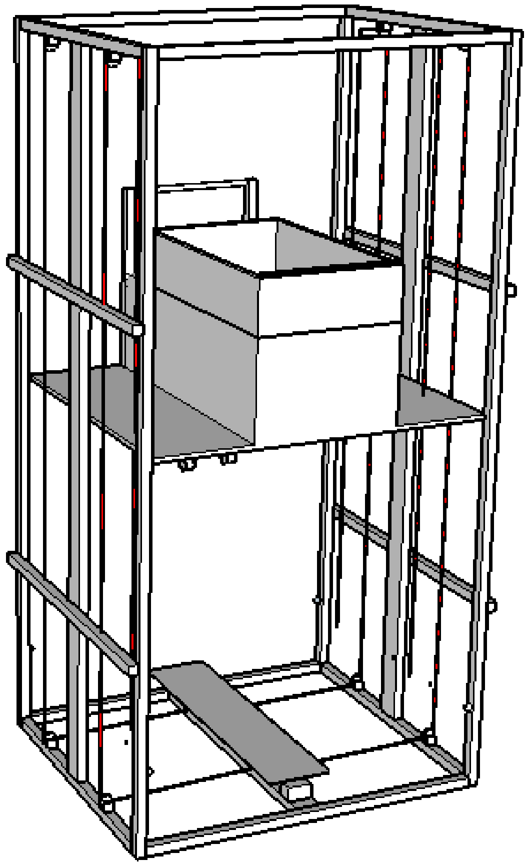
[재배기 컨트롤러(4CH) 외형도]

2. 운영비 절감을 위한 수확 보조 시스템 시제품 제작

- ○ 본 연구를 통해 재배거터와 재배판을 수확 보조 시스템에 호환이 될 수 있도록 개선/제작이 되었다.
- ○ 식물공장 운영비 중 가장 많은 비중이 인건비 이며 한곳에서 포기 수확과 정식을 하며, 다단 관리를 통해 이동 동선을 최소화 하여 인건비를 절감하는 방안으로 설계를 진행 하였다.
- ○ 기존 리프트 기술과 지게차의 Fork발의 방식의 선행기술을 분석하여 제품 설계가 이루어 졌으며, 시제품 제작 후 시운전과 안정성에 대한 테스트를 진행 중이다.
- ○ 본 과제를 통해 양산화까지는 가지 못했지만 충분한 테스트와 시운전을 통해서 제품화를 할 예정이며 제품화가 이루어지면 횡방향 이동으로 인하여 제품 단가는 1대를 가지고 여러 Bay를 관리 할 수 있도록 하여 절감을 하며, 인건비 측면에서 기존 대비 30% 할 수 있을 것으로 보인다.

가. 수확 보조시스템 설계와 시제품 제작 현황

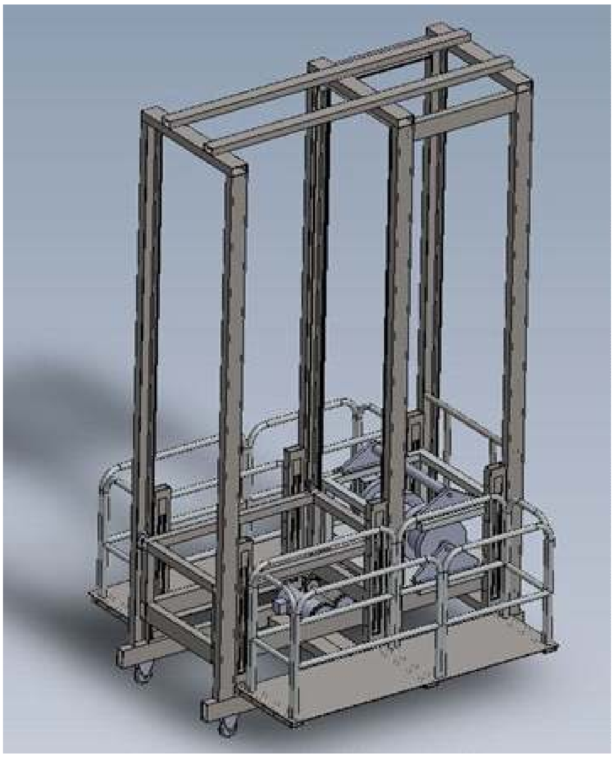


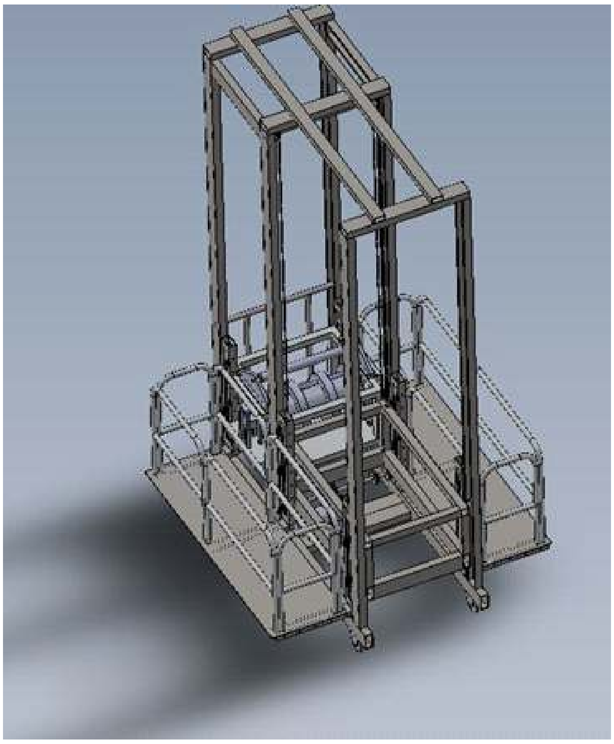


[1차 시제품 모델링]

[1차 시제품 제작 현황]

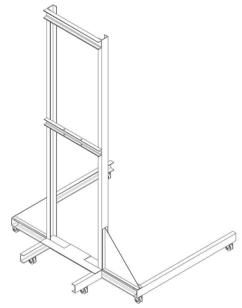
○ 렌치모터를 이용하여 작업부 발판을 Up&Down 구조로 설계를 하여 제작하였지만, 메인 프레임 구조가 너무 두꺼워 지며 중심부가 한쪽으로 되어 있어서 작업자의 안정성이 대한 문제로 인한 개선 요구.



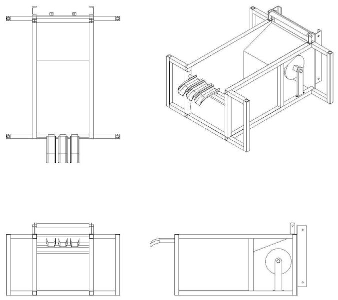


[2차 시제품 모델링]

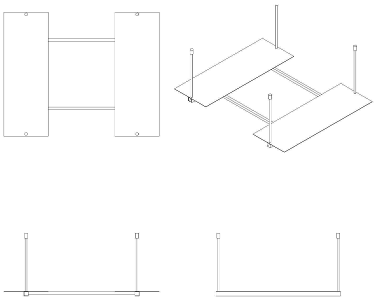
○ 1차 시제품에서 문제 되었던 메인 프레임에 대한 구조를 변경.
○ 구동부는 유압 모터를 활용한 제품 설계진행.



[프레임 설계도]



[수확부 설계도]



[작업대 설계도]

[2차 시제품 제작 현황 1]

※ 수확부 쪽에 재배판이 롤형태로 감겨오는 형태의 부분 테스트 진행.

[2차 시제품 제작 현황 2]

※ 작업부 쪽 Up&Down 운행에 대한 부분 테스트 진행.

[2차 시제품 제작 현황 3]

[2차 시제품 제작 현황 4]

[수확 보조 장치 필드 테스트]

나. 수확 보조시스템 구성

○ 최고작용압력 : 70kgf/㎠(6,864MPa)
○ 내압력 : 105kgf/㎠(10,297MPa)
○ 사용속도범위: 10~300mm/sec
○ 작업대에 구동부를 속도를 최소화한 실린더를 사용하여 안전성 확보

[작업대 구동 실린더]

○ 90 각 40w 모터에 감속비율을 1/180을 줘서 하중물을 끌어 당길 수 있도록 모터 선정

[수확부 구동 모터]

다. 수확 보조장치의 필드 테스트 결과

○ 수확 보조장치를 1대를 사용하여 총 4 Bay를 관리 할 수 있으며, 횡방향 이동으로 재배베드 배치도에 따라 효율도가 증대 될 것으로 보임.

○ 작업부와 수확부에 충분한 필드 테스트를 통하여 제품의 안정성 확보하고, 수확부에 지하부 컷팅 칼을 설계 반영 하면 수확 관리 시간의 최소화를 통한 인건비 절감 가능.
○ 뿌리부의 폐기 처리부분과 제품의 안전성 확보를 위하여 안전장치를 보완.

3. 재배작물(바질)의 생장과 기능성 성분에 대한 연구

(1) 식물공장 내 광원 조절에 따른 바질의 생산성과 기능성 물질의 변화 연구

가. 재배작물(‘케일’)의 연구 배경

○ 건강식품은 세계에서 가장 강력한 트렌드 중 하나입니다. 세계 식품 시장에는 건강을 고려하지 않은 것은 없다. 스위트 바질 (Ocimum basilicum L.)은 가장 일반적인 기능성 허브 중 하나이다(Hakkim et al., 2007; Makri and Kintzois, 2008). 초본 및 약용식물은 일반적으로 들판에서 재배되어 토양의 비옥도, 날씨, 재배 관행, 질병 및 해충과 같은 요인에 의해 영향을 받는 2차 대사산물의 함량뿐만 아니라 바이오 매스 생산에서 매년 변화를 일으킨다(Orcutt 및 Nilsen, 2000).

○ 스위트 바질은 rosmarinic acid (RA)이라 불리는 이차 대사산물을 함유한다. RA는 항산화제, 꽃가루 및 알레르기를 감소시키는 능력, 항바이러스제 및 항염증제를 갖는 중요한 생물학적 특성을 갖는 caffeic acid(CA)의 에스테르이다. RA는 또한 방충제 및 항균 작용으로 식물을 보호한다(Bais et al., 2002; Petersen and Simmonds, 2003 : Sanbongi et al., 2004). CA와 RA는 상당히 잘 확립된 일련의 효소 반응인 phenylpropanoid 경로를 통해 합성된다. RA는 L-phenylalanine 및 L-tyrosine에서 유래된 CA 및 3,4-dihydroxy phenylalanine의 에스테르이다(Petersen et al. 1993; Petersen and Simmonds 2003). Coleus blumei의 세포 배양에서, RA 함량은 phenylalanine ammonium lyase (PAL) 활성과 관련이 있다(Razzaque, 1977). 최근에 청색 및 UV-B 광의 조사는 양상추에서 PAL로부터 phenylpropanoid 경로를 자극하고(Ebisawa et al. 2008) 바질에서 페놀 생성을 증가시키는 것으로 보고되었다(Nitz and Schnitzler 2004).

○ 스위트 바질은 주요 향기 식물 중 하나이다. 이전 연구에서 스위트 바질의 생장과 잎의 essential oil 함량은 온도, 광도 및 관개 수준에 영향을 받는 것으로 나타났다(Amaki et al., 2011). essential oil 조성은 수확 및 수확 후 공정과정 동안 지속적인 자발적 변형을 통해 변화한다(Carvalho et al., 2006). 바질에서 추출한 200종 이상의 essential oil을 기반으로 Lawrence et al. (1988)은 4가지 essential oil의 화학 유형(methyl cavicol, linalool, methyl eugenol, methyl cinnamate) 및 수많은 하위 유형을 보고했다.

○ 특히, linalool은 항산화 및 항미생물 활성을 나타내는 terpenoid화합물이다(Simon et al., 1990). methyl cinnamate는 향이 강하기 때문에 방향제 관련 물질로도 알려져 있으며 정유의 방향과 직접 관련이 있다(Viña and Murillo, 2003). 광질은 폴리페놀 및 정유와 같은 2차 대사산물에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그러나 방향족 화합물의 함량과 스위트 바질의 생장에 대한 광질의 영향에 대해서는 거의 보고된 바가 없다(Amaki et al., 2011). 인공 광원으로 재배된 식물에서, 광 스펙트럼의 변화는 정유 및 폴리페놀과 같은 표적 물질의 생합성을 촉진하는 데 사용될 수 있다 (Ivanitskikh and Tarakanov, 2014).

○ 식물 공장은 현재 차세대 농업생산 시스템으로 각광을 받고 있다. 친환경 농산물 생산 시스템으로 유지될 수 있는 완전 제어식 공장은 주로 다양한 인공 광원을 사용하여 관리된다. 많은 식물공장에서 종종 광원으로 사용되는 형광 및 발광 다이오드 (LED)는

식물에 필요한 조명을 제공하고 광 에너지 이용 효율을 향상시킬 수 있다고 보고하였다(Kozai, 2007).

○ 따라서, 최근에는 공장을 사용하여 특수 작물의 기능성 물질 개선에 대한 관심이 높아지고 있다. 이 연구는 연중 내내 폴리페놀과 essential oil 함량이 높은 고품질 스위트 바질을 생산하기 위한 LED조건을 찾기 위해 수행되었다.

나. 재배 연구 결과

<u>LED 조건에 따른 스위트 바질의 생장 특성</u>

○ 이식 후 3주 동안 LED 광원의 4가지 조합으로 스위트 바질에 처리한 후, 4개의 LED는 총 생체중(TFW), 신초 생체중(SFW) 및 뿌리 생체중(RFW)에서 유의한 영향을 미쳤지만 초장과 잎 수에는 영향을 미치지 않았다(표 1). B0: R5:W5 처리는 다른 LED에 비해 TFW 및 SFW가 43.2 및 34.4 g으로 가장 크게 증가했다. 그러나 스위트 바질의 초장과 잎 수는 LED에 따라 크게 변하지 않았지만, B0: R5:W5를 사용한 처리구의 평균에서는 가장 높은 생장을 보였다.

○ Lim 등(2013)은 각각의 적색 또는 청색 단색 LED를 사용한 스위트 바질의 총 6주의 생장기간 동안 초기 2주째는 본 연구 결과와 비슷하였지만, 정식 후 4주째의 스위트 바질은 청색 LED, 형광등, 태양광에서 보다 적색 LED에서 더 나은 신초 생장을 보여주었다.

○ Matysiak와 Kowalski(2019)는 또한 적색 LED가 청색 LED보다 스위트 바질의 생장특성이 더 뛰어나며, 특히 적색 LED에 노출된 스위트 바질의 SFW는 청색 LED보다 29% 무겁다고 보고했다. 본 연구에서, 높은 비율의 적색 LED (B0:R5:W5) 처리는 이전 연구의 결과와 유사하게 TFW 및 SFW를 증가시켰다.

○ 스위트 바질의 뿌리는 청색 LED에 노출될 때 증가하고 햇빛보다 3배 더 빠르게 형성된다고 보고하였다(Lim et al., 2013). Blue LED는 식물 높이에 영향을 미치지 않았지만(Naznin et al., 2019), 다른 파장의 LED와 비교할 때 스위트 바질에서 왜소한 경향이 관찰된다고 하였다(Matysiak and Kowalski, 2019). 본 연구에서, 청색광을 함유한 LED 처리구는 뿌리의 성장을 촉진시키지 않았지만, 백색 LED의 높은 백분율은 뿌리 FW의 최대 증가를 보였다. 또한 스위트 바질의 초장과 잎 수는 모든 LED 처리에서 큰 변화가 없었다.

○ 최근 많은 연구에 따르면 단색 LED가 아닌 특정 파장 범위를 생성하기 위해 다른 색상의 LED를 조합하는 것이 작물을 재배하고 수확 단계에서 기능적 물질의 함량을 증가시키는 데 바람직할 것이라고 제안했다(Carvalho et al., 2016; Schwend et al., 2016; Naznin et al., 2019). Pennisi et al.(2019)은 이전 연구에서 낮은 PPFD (즉, 최소 60 μmol · m2 · s-1)보다 높은 PPFD (광합성 광자 플럭스 밀도)를 제안했으며, 실내 생장 조건은 파종 후 40일의 수확 시간에 적합함을 시사했다. 또한, 실내에서 스위트 바질의 생장 특성에 최적화 된 청색 및 적색광의 비율은 B3:R7:W0 (215 μ mol · m2 · s-1)로 보고되었다. Naznin et al.(2019)는 B1:R9:W0 (200 μmol · m2 · s-1)이 다른 LED보다 1.4배 더 무겁기 때문에 레몬 바질에서 SFW를 증가시키는 데 적합하다고 보고했다.

○ 결론적으로 본 연구에 사용된 모든 LED 조합은 스위트 바질의 생장을 억제하지 않는 범위에서 정상적으로 생육하였으며, 적색 LED 비율이 높은 B0: R5:W5가 스위트 바

질의 생장을 촉진시키는 데 가장 적합하다고 추천할 수 있다.

스위트 바질 잎의 폴리페놀 화합물 및 항산화 활성

○ HPLC 크로마토그램(그림 1)에 나타난 바와 같이, 본 연구는 LED에 의해 영향을 받는 스위트 바질의 폴리페놀에서 3가지 주요 피크를 확인하였다. 이러한 주요 폴리페놀은 이전 논문에서 발견된 폴리페놀류와 일치했다(Shiga et al., 2009). 3가지 주요 폴리페놀의 경우, rosmarinic acid 함량이 검출된 폴리페놀 중의 가장 높은 비율을 차지했으며, 그 다음으로 chicoric acid 및 caffeic acid이 차지하였다(그림 1).

○ LED 처리를 사용하여 폴리페놀 성분의 함량을 비교하였을 때, B2:R3:W5 처리구가 스위트 바질의 잎으로부터 가장 높은 함량의 chicoric acid(392.4 mg・g-1) 및 rosmarinic acid (424.5 mg・g-1)을 유도함을 발견하였다. 그러나 caffeic acid은 모든 LED에서 95-101 mg・g-1 범위로 나타났으며, caffeic acid은 처리된 LED 파장에 따른 영향을 받지 않는 것으로 추정되었다(그림 2).

○ Schwend et al.(2016)은 스위트 바질의 caffeic acid은 적색 LED의 영향을 받지 않았다고 제안하였고, 적색, 청색 및 백색 LED에 노출된 caffeic acid의 함량에는 유의한 차이가 없었다고 보고하였다(Shoji et al., 2011). caffeic acid 함량은 caffeate O-methyltransferase의 활성에 따라 다르고 한다(Gang et al., 2002).

○ Rosmarinic acid의 함량은 적색 및 청색 LED보다 백색 LED의 영향을 받는 것으로 보고되었다(Shiga el al., 2009). 그러나, 본 연구에서는 B2:R3:W5에서 가장 많은 함양의 rosmarinic acid이 검출되었고, 다른 LED 처리에서는 유의한 차이를 보여주지 않았다.

○ 이전 연구에서 PAL 유전자는 페놀 생합성의 시작점으로 잘 알려져 있다. PAL 유전자는 또한 청색 LED에 의해 현저하게 활성화된다고 보고하였다 (Koukol and Conn, 1961; Son et al., 2012). 청색 LED는 가시광선의 양성자 당 가장 높은 에너지를 가지므로 청색 LED는 적색 및 백색 LED보다 PAL 유전자의 발현이 가장 빠르다고 한다(Shoji et al., 2011).

○ LED에 따른 스위트 바질의 라디칼 소거능은 HPLC 분석에 사용된 샘플을 사용하여 조사되었으며, 라디칼 소거능은 희석되지 않은 샘플을 사용할 때 모든 LED에서 80% 이상의 라디칼 소거 활성이 검출되었기 때문에 LED 처리간에 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 샘플을 10배 희석한 후, 라디칼 소거 활성을 다시 조사하여 모든 LED 처리에 대한 정확한 차이를 결정하고자 하였다.

○ LED 처리를 사용하여 항산화 활성을 비교한 결과, B2:R3:W5 처리구가 가장 높은 항산화 활성을 나타내었으며 B0:R1:W12, B0:R1:W9 및 B0:R5:W5가 그 뒤를 뒤따랐다(그림 3). chicoric acid 및 rosmarinic acid의 함량이 가장 높았던 B2:R3:W5 처리구에서 역시 가장 높은 항산화 활성을 나타냈다. Shoji et al.(2011)은 rosmarinic acid이 잎의 산화 방지제 역할을 하며, 이는 폴리페놀류의 함량이 증가할 때 자유 라디칼에 대해 보호한다고 가정했다. 다른 연구에 따르면 청색 LED와 결합된 적색 LED는 바질의 항산화 활성을 향상시켰으며 (Manivannan et al., 2014, Naznin et al., 2016), UV-B 및 청색 LED는 페놀 합성효소를 자극한다고 하였다(Ebisawa et al. 2008, Sakalauskaite et al 2012). LED에 따른 바질의 항산화 활성에 대한 이전의 연구는 청색 LED (B1:R9:W0, 200 μmol・m-2・-1)가 보완된 적색 LED가 단색의 적색LED보다 항산화 활성이 1.2배 높았다고 보고했다(Naznin et al. 2019).

○ 본 연구는 B2:R3:W5 처리가 스위트 바질에서 chicoric acid 및 rosmarinic acid의 함량을 증가시키고 항산화 활성을 증가시켰음을 보여주었다. 따라서 기능성 폴리페놀 함량이 높은 스위트 바질을 생산하기 위해서는 청색 LED를 포함한 LED 조합을 권장한다. 결론적으로 이 LED조합은 식물공장 내에서 수경재배된 스위트 바질에서 폴리페놀류의 축적 및 항산화 활성을 향상시킬 것을 제안한다.

<u>스위트 바질 잎에서 추출된 essential oil의 함량과 조성</u>

○ 사용된 LED 조합처리에서 LED 처리에서 essential oil의 수율 범위는 0.1-0.7%이였고, 각 LED 조합에서 각 essential oil의 절대 함량 (B2:R3:W5; B0:R5:W5; B0:R1:W12; B0:R1:W9)는 스위트 바질의 동결 건조된 잎 50g 당 365.61, 213.52, 131.75 및 65.50 mg 이었다 (표 2). essential oil을 GC로 분석하여 얻은 28개의 피크가 스위트 바질의 잎에서 확인되었다. 본 연구에서 linalool, estragole, methyl-cinnamate 및 eugenol과 같은 4가지 주요 화합물을 확인하였다. 상기 4가지 주요 화합물은 이전 보고서에 기술된 바질의 4가지 주요 화합물과 일치하였다(Lawrence et al., 1988).
○ 결과적으로, LED 조합처리구에 관계없이 methyl-cinnamate 함량은 essential oil 중 가장 높은 비율(27.6-39.4%)을 차지했으며, linalool(19.2-33.1%), estragole(10.1-19.6%) 및 eugenol(1.6-4.4%)이 그 뒤를 이었다. 또한 B0:R1:W12를 처리하였을 때 methyl-cinnamate는 essential oil 중 가장 낮은 비율(27.6%)로 검출되었지만, linalool(33.1 %)과 estragole(19.6 %)은 다른 LED 조합보다 오히려 높은 비율로 검출되었다(표 3).
○ 다른 화합물에서는 B2:R3:W5 처리구가 다른 LED조합보다 essential oil에서 더 높은 비율의 eugenol(4.35 %)을 나타냈다. 그러나 Marotti et al.(1996)과 Amaki et al.(2011)의 연구에서는 1,8-cineol이 주요 정유 화합물로 확인되었지만(Marotti et al., 1996; Amaki et al. 2011), 본 연구에서는 스위트 바질의 총 에센셜 오일 당 1,8-cineol의 비율은 매우 낮게 나타났다.
○ PAL은 청색광과 반응하여 L-phenylalanine을 trans-cinnamate로 전환함으로써 methyl-cinnamate를 합성하고, eugenol은 PAL에서 출발하여 ρ-coumaronly-CoA를 통해 합성된다. eugenol은 또한 신초에 위치한 특수 구조에서 고농도로 발견된다(Koukol and Conn, 1961; Gang et al., 2001; Gang et al., 2002). 본 연구에서 methyl-cinnamate 및 eugenol은 청색 LED를 포함한 LED조합에 의해 대량으로 검출되었으므로, 청색 LED는 methyl-cinnamate 및 eugenol을 증가시키는 것으로 추정된다.
○ 스위트 바질의 essential oil은 생산 지역 (예: 오스트랄리아, Lachwicz et al., 1996; 이란, Sajja, 2016), 품종(Marotti et al., 1996; Viña and murillo, 2003), 건조 조건 및 추출 방법(Carvalho et al., 2006; Calín et al., 2012)에 따라 휘발성 성분의 조성이 다양하고 알려져 있다. Amaki et al.(2011)은 정식 후 70일 후에 수확한 바질을 건조하지 않고 essential oil을 추출할 때 1,8-시네놀이 essential oil의 가장 많은 주요 성분인 것으로 밝혀졌으며, 청색 LED 처리시 가장 높은 수율의 essential oil을 생산한다고 보고 하였다. 따라서, 청색 LED는 바질의 정유(essential oil) 성분 및 방향성 화합물을 증가시키는 데 적합한 것으로 판단된다.
○ Terpenoid는 허브에서 추출한 essential oil의 주요 성분으로 잘 알려져 있다. 현재 결과에서, B0:R1:W9 하에서 성장한 스위트 바질은 주로 germacrene-D, β-elemene,

α-bisabolene, α-bergamotene, γ-cardinene, nerolidol과 같은 sesquiterpene group (C15)의 양이 가장 많았다. 다른 경우에, 백색 LED의 비율이 가장 높은 B0:R1:W12 하에서 자란 스위트 바질은 주로 linalool, estragole, camphor와 같은 monoterpene group (C10)의 양이 많았다. 그러나, 같은 monoterpene group에 속한 methyl-cinnamate과 eugenol은 백색 LED의 비율이 낮은 B0:R5:W5 및 B2:R3:W5에서 가장 높은 함량을 나타내었다.

○ Noguchi와 Amaki (2016)는 terpenoid 생합성의 방향은 진화 과정에서 결정될 것이라고 가정했다. 또한 Mexican mint (Plectranthus amboinicus)의 LED 파장이 essential oil의 생합성 대사 방향에 영향을 준다고 제안했다. 청색 LED에 노출된 Mexican mint에서 추출한 essential oil은 주로 β-panesene, germanicen-D와 같은 다량의 sesquiterpene 그룹(C15)을 함유하고 있었지만, 적색 LED에 노출된 민트에서 추출된 오일은 α-pinene, β-pinene, and limonene과 같은 다량의 monoterpene그룹(C10)을 포함한다고 보고하였다.

○ 따라서, 식물공장 내에서 다양한 LED 조합으로 광 환경을 제어하는 것은 스위트 바질에서 essential oil의 수율 및 특정 조성을 조절할 것으로 예상된다. 결론적으로, B2:R3:W5 처리는 스위트 바질에서 폴리페놀 및 정유를 증가시키는 데 가장 적합하였다.

Table 1. Growth characteristics of the sweet basil influenced by various LEDs at the harvest stage[z]

LED ($\mu mol \cdot m^{2} \cdot s^{-1}$)	Total fresh weight (g)	Shoot fresh weight (g)	Root fresh weight (g)	Plant height (㎜)	No. of leaves (ea)
B0:R1:W9 (128)	36.4 b[y]	25.3 b	11.2 a	24.1 a	42.8 a
B0:R5:W5 (119)	43.2 a	34.4 a	8.4 b	26.3 a	49.8 a
B2:R3:W5 (128)	35.7 b	27.2 b	8.5 b	24.4 a	47.6 a
B0:R1:W12 (136)	33.5 b	23.4 b	10.1 a	24.6 a	48.0 a
significant	*	***	**	ns	ns

[z]Harvest stage: the 3rd week after transplanting.

[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at P = 0.05.

[ns,*,**,***]Non-signification or signification at P = 0.05, 0.01, and 0.001, respectively.

Table 2. Essential oil yield of sweet basil influenced by LEDs

LED (μmol·m^2·s^{-1})	B0:R1:W9 (128)	B0:R5:W5 (119)	B2:R3:W5 (128)	B0:R1:W12 (136)
Content[z] (mg)	65.50	213.52	365.61	131.75
Content (%)	0.01	0.04	0.07	0.02

[z]Absolute and percentage of crushing 50 g of freeze-dried leaves in the sweet basil

Table 3. Each proportion of essential oils in sweet basil influenced by LEDs

Name of compound	R.I.[z]	R.T[y]	LED treatment B0:R1:W9	B0:R5:W5	B2:R3:W5	B0:R1:W12
thujene	1119	8.009	0.02	N.D.	0.04	0.05
β-myrcene	1162	9.479	0.06	N.D.	0.08	0.13
α-terpinene	1177	9.991	0.03	N.D.	0.03	0.08
limonene	1197	10.684	0.07	N.D.	0.08	0.11
1,8-cineole	1208	11.117	0.93	0.53	1.28	1.92
γ-terpinene	1243	12.508	0.13	0.03	0.14	0.21
3-carene	1251	12.800	0.49	0.10	0.49	0.66
α-terpinolene	1281	13.976	0.07	-	0.07	0.10
fenchone	1375	18.63	0.06	0.05	0.08	0.13
α-copaene	1441	21.213	0.18	0.20	0.28	0.47
octene-3-ol	1471	22.143	0.11	0.09	0.07	0.06
camphor	1510	23.456	0.20	0.20	0.29	0.40
β-cucubene	1535	24.444	0.18	0.13	0.15	0.11
linalool	1553	25.178	19.29	21.24	24.00	33.14
α-bergamotene	1583	26.376	1.61	1.08	1.03	0.57
β-elemene	1587	26.529	2.10	1.51	1.41	0.98
terpinen-4-ol	1603	27.176	0.88	0.96	1.14	1.49
estragole	1667	29.644	12.72	10.10	10.45	19.55
germacrene-D	1702	31.009	4.84	3.68	3.20	2.38
γ-cardinene	1710	31.290	0.88	0.63	0.62	0.38
α-bisabolene	1728	31.934	2.09	1.57	1.29	1.04
anethole	1754	32.904	2.39	1.80	1.59	1.05
methyl eugenol	2004	41.883	0.17	0.13	0.09	0.07
nerolidol	2048	43.284	0.59	0.44	0.35	0.23
methyl-cinnamate	2065	43.835	39.38	44.83	41.35	27.64
eugenol	2165	46.699	1.55	3.95	4.35	2.79
τ-muurolol	2170	46.865	4.62	3.50	2.77	1.33
Total area %			95.64	96.76	96.71	97.09

[z]R.I, Retention index (Kovat's index, 1958)

[y]R.T, Retention time (min)

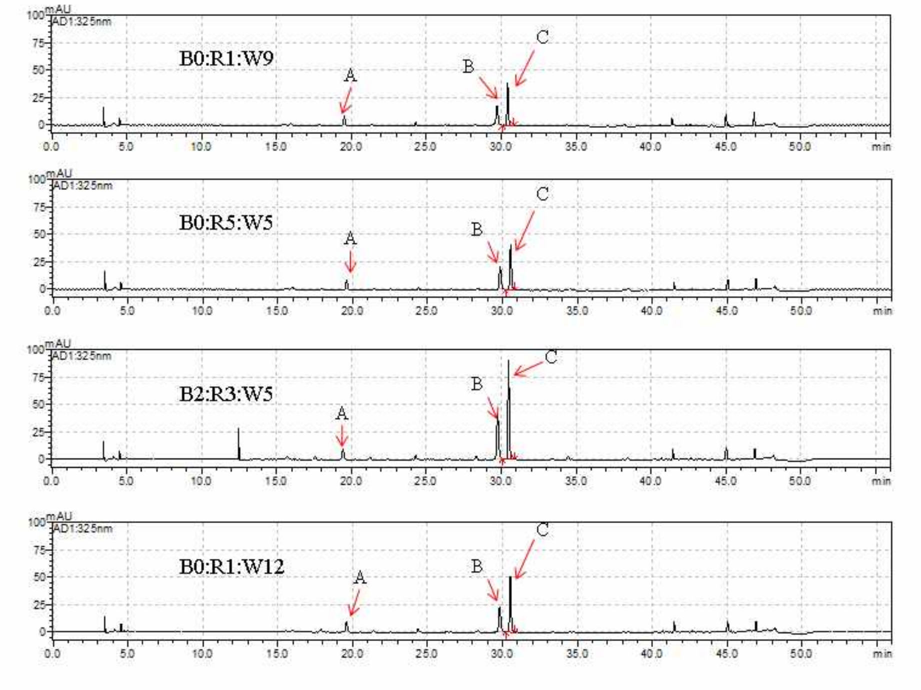


Fig. 1. HPLC chromatogram of polyphenols in freeze dried leaves of *O. basilicum* L. influenced by 4 different LEDs in plant factory. (A) caffeic acid; (B) chicoric acid; (C) rosmarinic acid. B0:R1:W9 (128 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W); B2:R3:W5 (119 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W); B0:R5:W5 (128 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W); B0:R1:W12 (136 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 24W).

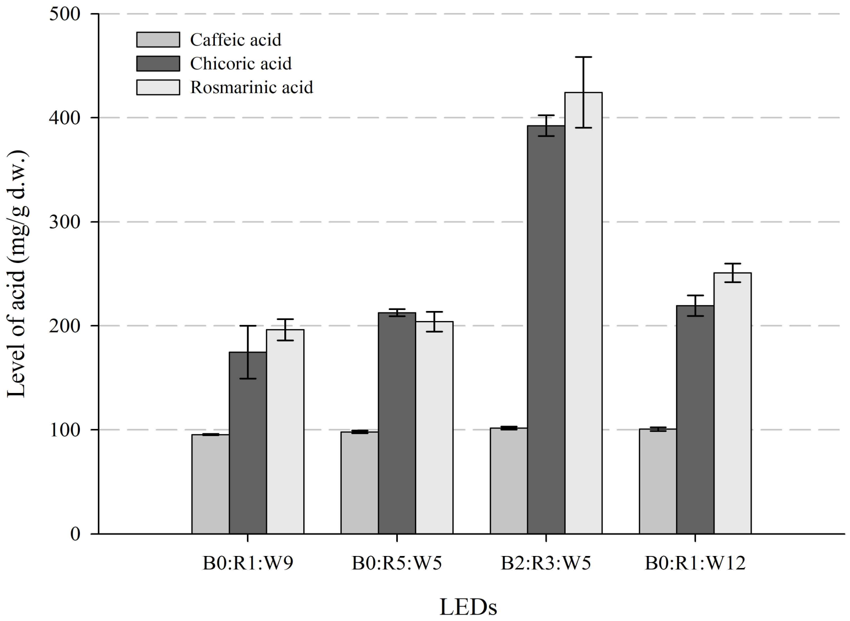


Fig. 2. Level of 3 major polyphenols (mg·g^{-1} d.w.) in freeze dried leaves of *O. basilicum* L. influenced by various LEDs. legend indicated caffeic acid; chicoric acid; rosmarinic acid. X-numeric was B0:R1:W9 (128 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W); B2:R3:W5 (119 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W); B0:R5:W5 (128 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W); B0:R1:W12 (136 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 24W).

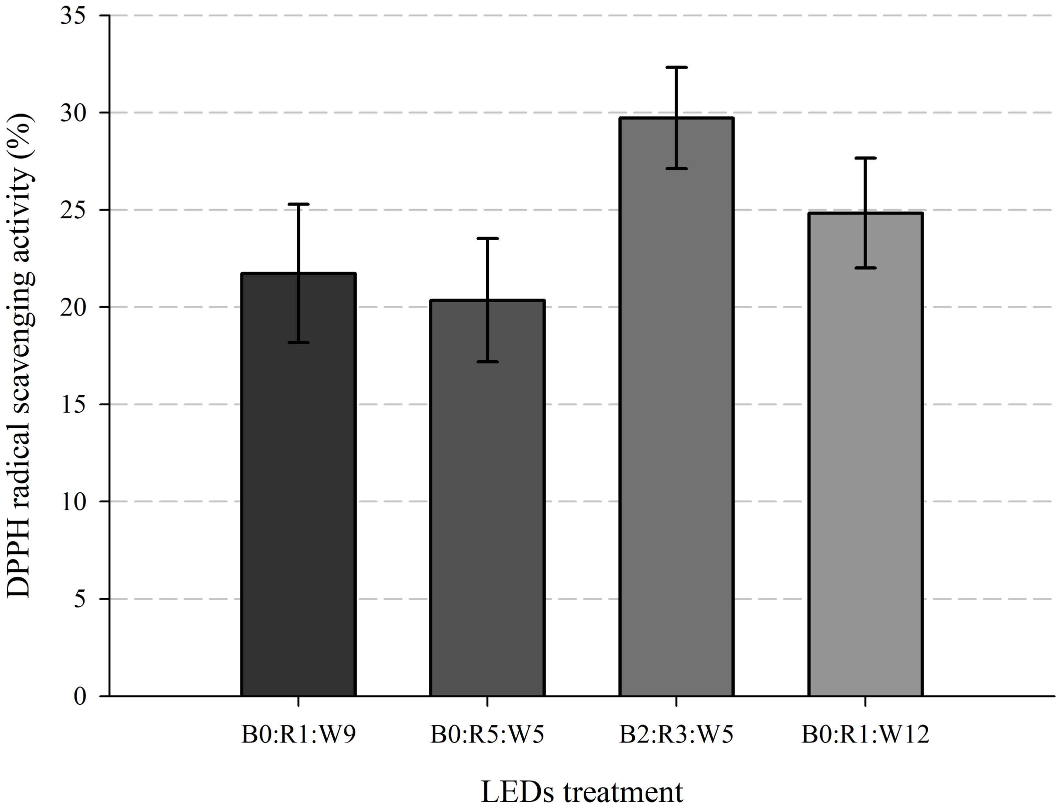


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity of *O. basilicum L.* grown under various LEDs treatments diluted 10 multiple at 3 weeks after transplanting. B0:R1:W9 (128 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W). B2:R3:W5 (119 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W). B0:R5:W5 (128 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 20W). B0:R1:W12 (136 μmol·m^{-2}·s^{-1}, 24W).

다. 식물공장의 식물성장과 환경 상태

○ 스위트 바질(Ocimum basilicum L.)은 아시아씨드 코리아(Seoul, Korea)에서 구매하였다. 본 연구는 식물공장에서 박막수경필름기술(NFT)과 수경재배를 사용하여 수행되었다. 식물공장의 환경 조건은 22.5±2.5° C 및 80±5% 상대습도로 유지되었다. 광주기는 밤낮으로 14/10시간이었다. 스위트 바질을 NFT 베드에 이식하고, 파종 후 3주에 식물공장에서 야마자키 영양용액 (EC 2.0 dS·m-1; Yamazaki, 1982)을 사용하여 생장시켰다.

○ LED (DMLED Co., Ltd., Ansan, Korea)는 3가지 LED 색상 (B: blue; R: red; W: white)의 조합으로 구성되었으며, 다음 4가지 LED 조건을 만들기 위해 조합시켰다: B0:R1:W9 (128 μmol·m-2·s-1), B2:R3:W5 (119 μmol·m-2·s-1), B0:R5:W5 (128 μmol·m-2·s-1), 및 B0:R1:W12 (136 μmol·m-2·s-1). 사용한 양액은 4개의 베이 각각에 순환 방식으로 공급하고, 베이 당 4개의 블록으로 4개의 LED 처리를 설치하였다. 파종 후 3주에, 블록 당 21개의 묘목을 4개의 블록으로 심어 LED 처리당 총 84개의 묘목을 식재하였다. 각 처리구 중간에 위치한 20주의 개체를 정식 후 3주째에 수확하여 생장 특성을 조사하였다.

○ 총 생체중(TFW), 신초 생체중(SFW), 뿌리 생체중(RFW), 초장, 잎 수를 포함하여 생장 특성을 개별적으로 조사하였다. LED 처리당 폴리페놀 및 essential oil을 분석하기 위해, 정식 후 3주째에 스위트 바질 잎을 동결 건조기 (Ilshin Bio Base Co., Ltd., Dongducheon, Korea)를 사용하여 48시간 동안 동결 건조시켰다.

라. 폴리페놀 추출과 분석

○ 간략하게 설명하면 50%의 70% MeOH/ 물(0.5 % 포름산)을 각 처리마다 1g의 동결 건조된 바질 잎에 첨가하였다. 750 rpm에서 30분 동안 추가로 진탕시킨 후, 분획을 0.2 ㎛ 필터로 여과하였다. 여과된 샘플을 HPLC-PDA (Shimadzu Nexera, Japan)를 사용하여 분석하였고, 분석 컬럼은 Phenomenex Gemini NX C18 (250mm × 4.6mm, 3㎛ 입자)을 사용하였다.

○ 이동상은 (A)메탄올:물:포름산 (70:426:4) 및 아세토니트릴(B)로 구성하였다. 그래디언트 프로그램은 다음과 같다 : 5:95 (0-5분)에서 30:70 (30-35분) 그리고 다시 80:20 (45분)하고 이후, 원래 조건 (5:95, 46분)으로 변경하였다. 이동상의 유속은 0.8 mL·min-1이고 샘플 주입량은 10 ㎕이였다. Caffeic acid, chicoric acid 및 rosmarinic acid의 함량은 표준 용액을 제조한 후 325 nm의 흡광도로 최대 흡수면적으로 정량하였다.

마. 라디칼 소거활성 분석(DPPH분석)

○ HPLC 분석에 사용된 샘플을 96 well plate에 100 ㎕를 첨가하여 희석하였다. 여기에 100 ㎕의 0.5 mM DPPH 용액 (에탄올)을 첨가하고 37℃에서 30분 동안 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하고 항산화 활성을 다음 식을 사용하여 계산 하였다.

○ $\left(1-\frac{Sample\ Absorbance}{Negative\ control\ Absorbance}\right)\times 100$

○ 또한, 각 처리에서 항산화 활성의 정확한 차이를 결정하기 위해 10배 희석 후 항산화 활성을 재측정하였다.

바. 스위트 바질의 정유 함량 추출과 분석

○ 동결 건조된 바질 잎 50 g을 분쇄한 후, 혼합물을 3 L의 원형 플라스크에 넣고 증류수 500 mL를 첨가하고 120℃에서 3시간 동안 증발냉각법에 의해 추출하였다. 추출된 정유에 무수 황산나트륨을 첨가하고 12시간 동안 냉동고에 저장하여 물이 제거된 정유를 획득하였다. 추출된 정유를 정량한 후, 10 ㎕의 정유를 1 mL의 hexane에 용해시키고 gas chromatogram인 GC-FID (Shimadzu GC-2010, Japan)를 사용하여 정량분석하고, GC/MSD (HP5890-5973, Japan)를 사용하여 정성분석을 수행하였다.

○ 칼럼으로서 DB-Wax (30 m × 0.25 mm, 0.25 ㎛ 막두께)를 사용하였다. 유입구의 온도는 260℃이고, 70℃에서 2분 동안 유지된 컬럼 온도는 3℃·m-1에 의해 200℃로 상승하고 10분 동안 200℃에서 유지시켰다. 이후 온도를 10℃·m-1까지 250℃로 상승시키고 3분 동안 계속하였다.

○ 1 ㎕의 샘플을 split / splitless (20:1 split) 모드로 주입했다. 정량적 데이터는 GC-FID 면적 백분율 데이터로부터 순차적으로 획득하였다. Kovat 머무름 지수를 탄화수소 및 GC-MSD와 비교한 다음 NIST ADMIS 버전 2.1 소프트웨어와 라이브러리를 비교하여 오일 성분을 식별하였다.

사. 통계분석

○ SAS 9.2 소프트웨어(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)에서 분산분석(ANOVA)을 사용하여 데이터를 평가하고, 평균을 5%의 유의수준으로 Duncan’s multiple range test에 의해 비교하였다. 그래픽 결과는 SigmaPlot 10.0 (USA)로 작성하였다.

○

(2) HAC와 AMG를 함유하는 양액 개발 시제품의 현장 적용 실험

가. 정식작업(2019년 6월 12일 파종 후 21일 째 정식 작업)

19. 06. 12 - 바질 파종작업 준비	19. 06. 12 - 바질 씨앗
19. 06. 12 - 바질씨앗 파종작업(Pot 240개)	19. 07. 01- 바질실험 HAMC 재배기 실험가동
19. 07. 02 - 바질실험 정식작업 완료 1	19. 07. 02 - 바질실험 정식작업 완료 2

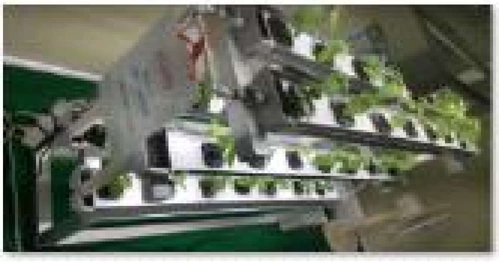
나. 정식 후 3일 째(19. 07. 05)

1구역 - 기본양액(대조구)	2구역 - 기본양액 + 개발제제 500배액
3구역 - 기본양액 + 개발제제 1,000배액	4구역 - 기본양액 + 개발제제 2,000배액

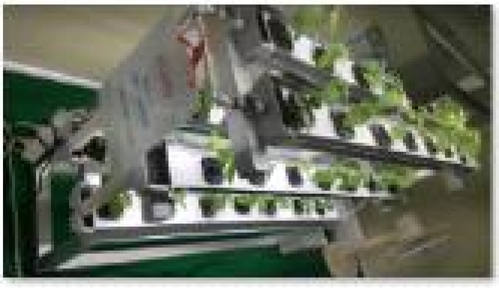
○ EC와 pH 값 측정

구분	1구역	2구역	3구역	4구역
EC 값(㎛/cm)	2,092	2,246	2,158	2,110
개발제제 배액 준비	-	400ml	200ml	100ml
pH 값	6.05	5.59	6.01	6.04
Pot 수	42	42	42	42

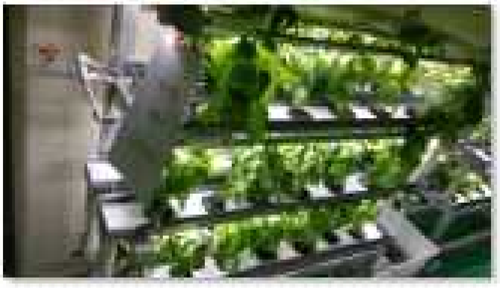
다. 정식 후 7일 째(19. 07 .09)

1구역 - 기본양액(대조구)	2구역 - 기본양액 + 개발제제 500배액
	
3구역 - 기본양액 + 개발제제 1,000배액	4구역 - 기본양액 + 개발제제 2,000배액

라. 정식 후 15일 째(19. 07 .17)

1구역 - 기본양액(대조구)	2구역 - 기본양액 + 개발제제 500배액
	
3구역 - 기본양액 + 개발제제 1,000배액	4구역 - 기본양액 + 개발제제 2,000배액

마. 정식 후 23일 째(19. 07 .25)

	
1구역 - 기본양액(대조구)	2구역 - 기본양액 + 개발제제 500배액
3구역 - 기본양액 + 개발제제 1,000배액	4구역 - 기본양액 + 개발제제 2,000배액

바. 실험결과

[4개 구역별 수확량]

(단위 : g, %)

횟수 구역	10포기 1회	10포기 2회	10포기 3회	평균 중량	수확량(%)
1구역(대조구)	74.35	81.52	78.06	77.98	100
2구역(500배액)	113.18	109.14	105.46	109.26	140
3구역(1,000배액)	94.16	89.62	88.36	90.71	116
4구역(2,000배액)	91.68	96.62	87.83	92.04	118

※ 수확량은 다른 구역들에 비하여 대조구인 1구역이 가장 낮았으며 그 중 2구역이 특별히 높은 것으로 측정되었음

[1구역 (기본양액-대조구)]

항목 NO	잎 두께 (mm)	줄기 두께 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소
1	0.64	4.52	8.03	6.74	45.7
2	0.28	2.88	7.78	4.91	39.5
3	0.48	4.07	8.10	5.21	47.1
4	0.59	3.35	7.57	5.39	41.7
5	0.41	4.87	9.15	5.34	42.4
6	0.46	2.73	9.04	5.56	43.9
7	0.51	2.97	8.18	6.03	44.1
8	0.53	2.87	7.69	6.09	42.7
9	0.29	3.05	7.71	5.91	45.9
10	0.3	3.84	8.45	6.49	40.6
평균	0.45	3.52	8.17	5.77	43.36

※ 총 42포기의 바질 중 10포기씩 3개 군을 선별하여 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음

[2구역 (기본양액 + 개발제제 500배액)]

항목 NO	잎 두께 (mm)	줄기 두께 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소
1	0.38	4.40	10.52	8.24	52.8
2	0.49	5.94	9.59	7.87	51
3	0.71	4.61	10.67	7.36	51.9
4	0.51	4.13	11.91	8.23	47.9
5	0.47	4.42	10.34	8.06	47.7
6	0.75	5.89	12.19	7.29	49.5
7	0.66	5.59	9.71	6.03	51.1
8	0.65	5.96	9.29	7.59	48.9
9	0.57	5.37	10.61	7.48	41.4
10	0.72	5.51	10.40	7.42	45.5
평균	0.59	5.18	10.52	7.56	48.77

※ 총 42포기의 바질 중 10포기씩 3개 군을 선별하여 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음

[3구역 (기본양액 + 개발제제 1,000배액)]

항목 / NO	잎 두께 (mm)	줄기 두께 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소
1	0.55	3.06	8.54	6.10	45.7
2	0.51	3.11	8.29	6.81	39.2
3	0.71	4.62	6.64	5.39	43.1
4	0.56	4.17	7.73	4.88	42.9
5	0.48	4.68	7.91	5.25	39.4
6	0.58	3.17	7.61	4.39	45.6
7	0.53	2.97	7.86	5.45	39.4
8	0.52	3.93	8.42	6.48	43.4
9	0.55	3.23	6.25	4.82	41.8
10	0.65	4.35	8.37	5.21	45.8
평균	0.56	3.73	7.76	5.48	42.63

※ 총 42포기의 바질 중 10포기씩 3개 군을 선별하여 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음

[4구역 (기본양액 + 개발제제 2,000배액)]

항목 / NO	잎 두께 (mm)	줄기 두께 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소
1	0.38	6.93	9.81	5.82	42.1
2	0.63	4.38	8.76	5.98	41.2
3	0.70	5.36	9.28	6.06	37.5
4	0.45	4.10	7.19	6.48	44.3
5	0.67	4.03	8.28	5.80	43.8
6	0.56	3.13	9.24	6.95	42.5
7	0.58	5.73	7.57	7.15	45.2
8	0.49	5.41	7.08	5.57	39.4
9	0.52	5.13	8.91	5.32	47.7
10	0.68	4.02	9.06	5.71	39.5
평균	0.57	4.82	8.52	6.08	42.32

※ 총 42포기의 바질 중 10포기씩 3개 군을 선별하여 총 3회 측정한 값의 평균을 기록하였으며, 잎 두께, 엽장, 엽폭, 엽록소는 각 포기의 밑에서 5번째 잎을 채취하여 측정하였음.

※ 총 4개 구역으로 나누어진 바질을 수확하여 각 군별로 잎 두께, 줄기 두께, 엽장, 엽폭 및 엽록소를 측정한 결과 잎 두께는 유의한 차이가 없었으며, 줄기 두께는 B군이 가장 컸으며, 엽장과 엽폭은 2구역이 가장 컸으며, 엽록소 역시 2구역이 가장 높았음

[바질 구역별 헌터값]

	Hunter		
	L	a	b
1구역	32.11	-3.20	7.53
2구역	35.37	-4.11	6.90
3구역	32.41	-4.16	6.98
4구역	31.47	-3.23	7.51

사. 비료 등록을 위한 비해시험

○ 시험개요

- 목적 : 공시비료(비종명 : 미량요소복합비료)의 파종작물(무, 참깨, 당근) 3종과 이식작물(고추, 가지) 2종의 유식물에 미치는 비해를 검정하여 비료등록자료로 활용하고자 함.
- 시험년도 : 2019년
- 시험장소 : 경기 수원시 당수동(시설)
- 시험담당자 : 조웅준, 윤현원
- 실험개시일 : 2019년 6월 10일
- 실험종료일 : 2019년 7월 22일

○ 시험방법

- 시험작물(품종) : 무(서호무), 참께(밀성), 당근(신흑전5촌), 고추(미팅), 가지(천하대세)
- 처리내용

시험물질	비해시험			시험작물	처리방법 (처리일)
	기준량	배량	4배량		
미량요소 복합비료	500배	250배	125배	무, 참깨, 당근	유묘기 엽면시비 (7/15)
	500배	250배	125배	고추, 가지	유묘기 엽면시비 (6/28)
무처리	-	-	-	-	-

- 경종개요
  - 파종시기 : 무(7/5), 참깨(6/28), 당근(6/10)
  - 정식시기 : 고추(6/25), 가지(6/25)
  - 포트규격 : 10cm
  - 온도 : 평균온도 : 23.6℃

- 시험구배치 및 소요면적 : 완전임의배치법 3반복

구 분	작물수	처리수	반복수	총구수	구당 포트수	총 포트수
비해시험	5	4	3	60	5포트	300포트

- 공시비료처리 및 시험구 배치 사진

[시험구배치]

[시험물질]

[시험물질시비]

- 조사방법

구　　분	조사항목	작물명	조사횟수	조사일자	조사방법
비해시험	외관상 비해유무	무, 참깨, 당근	3회	7/18, 7/20, 7/22	엽면시비 후 3, 5, 7일차 외관상 비해 유무 달관조사
		고추, 가지		7/1, 7/3, 7/5	

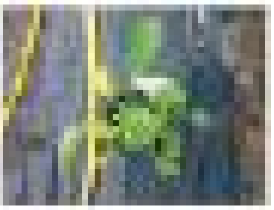
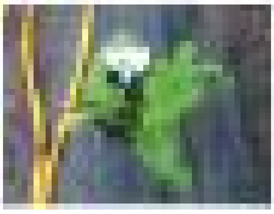
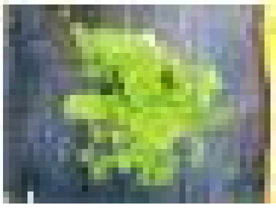
○ 시험성적

- 비해시험 결과

시험작물 (품종)	시비내용	비해정도(0~4)			최종결과
		시비 후 3일차	시비 후 5일차	시비 후 7일차	
무 (서호무)	기준량	0	0	0	비해 없음
	배량	0	0	0	비해 없음
	4배량	0	0	0	비해 없음
참깨 (밀성)	기준량	0	0	0	비해 없음
	배량	0	0	0	비해 없음
	4배량	0	0	0	비해 없음
당근 (신흑전5촌)	기준량	0	0	0	비해 없음
	배량	0	0	0	비해 없음
	4배량	0	0	0	비해 없음
고추 (미팅)	기준량	0	0	0	비해 없음
	배량	0	0	0	비해 없음
	4배량	0	0	0	비해 없음
가지 (천하대세)	기준량	0	0	0	비해 없음
	배량	0	0	0	비해 없음
	4배량	0	0	0	비해 없음

○ 시험사진

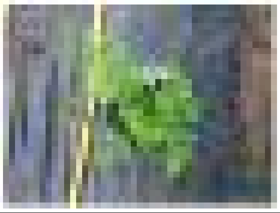
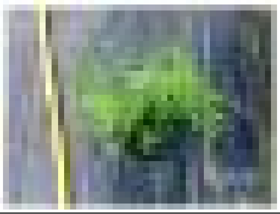
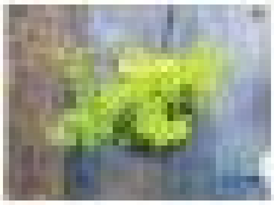
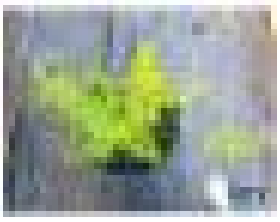
- 무

				
3일차	무처리	기준량	배량	4배량
				
5일차	무처리	기준량	배량	4배량
7일차	무처리	기준량	배량	4배량

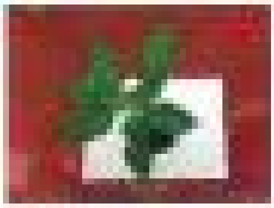
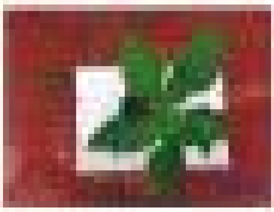
- 참깨

3일차	무처리	기준량	배량	4배량
5일차	무처리	기준량	배량	4배량
7일차	무처리	기준량	배량	4배량

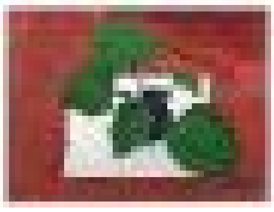
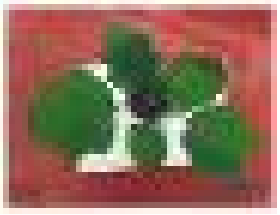
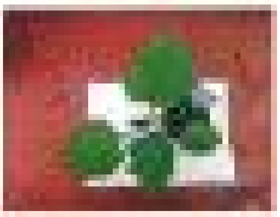
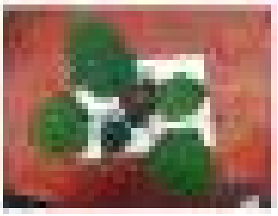
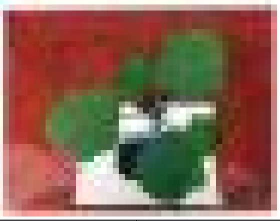
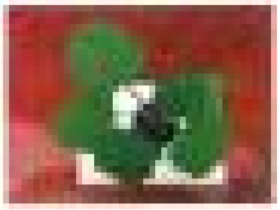
- 당근

				
3일차	무처리	기준량	배량	4배량
				
5일차	무처리	기준량	배량	4배량
7일차	무처리	기준량	배량	4배량

- 고추

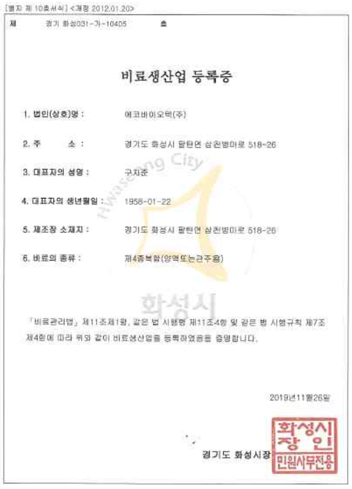
3일차	무처리	기준량	배량	4배량
5일차	무처리	기준량	배량	4배량
				
7일차	무처리	기준량	배량	4배량

- 가지

<table>
<tr><td colspan="2"> </td><td> </td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3일차</td><td>무처리</td><td>기준량</td><td>배량</td><td>4배량</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td></td><td> </td><td></td></tr>
<tr><td>5일차</td><td>무처리</td><td>기준량</td><td>배량</td><td>4배량</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td> </td><td></td><td> </td></tr>
<tr><td>7일차</td><td>무처리</td><td>기준량</td><td>배량</td><td>4배량</td></tr>
</table>

○ 시험결과

- 공시비료의 기준량과 배량, 4배량을 유묘기 엽면시비하여 3일, 5일, 7일차에 처리구의 생육 및 신초에 대한 비해 유무를 달관 조사하였음.
- 비해시험 결과, 공시비료 기준량, 배량구, 4배량구에서 비해는 없었음.
- 본 시험을 종합한 결과, 공시비료는 파종작물 3종(무, 참깨, 당근) 및 이식작물 2종(고추, 가지)에 대하여 비해가 없어 비료등록용으로 적합할 것으로 판단됨.



[별지 제 10호서식] <개정 2012.01.20>

제 경기 화성031-가-10405 호

비료생산업 등록증

1. 법인(상호)명 : 에코바이오텍(주)
2. 주 소 : 경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26
3. 대표자의 성명 : 구자준
4. 대표자의 생년월일 : 1958-01-22
5. 제조장 소재지 : 경기도 화성시 팔탄면 삼천병마로 518-26
6. 비료의 종류 : 제4종복합(양액또는관주용)

「비료관리법」 제11조제1항, 같은 법 시행령 제11조4항 및 같은 법 시행규칙 제7조 제4항에 따라 위와 같이 비료생산업을 등록하였음을 증명합니다.

2019년11월26일

경기도 화성시장 [화성시장인 민원사무전용]

○ 등록번호 : 경기 화성031-가-10405

[4종복합비료(양액, 관주용) 등록 완료]

제 3장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1절 목표달성 현황

1. 연구개발결과 목표 달성 현황

○ 연구최종목표 : 저비용·고효율 현장보급형 식물공장 생산시스템 개발

- 본 연구를 통해 식물공장 생산시스템의 현장 보급을 위해 실질적인 모델화 구축
- 재배베드의 각 요소별 양산체계 확립을 통하여 초기 구축비 절감
- 재배베드에 각 요소별 유지보수의 간편화를 위한 모듈화 제작
- 재배 환경 구성 요소(센싱, 공조)에 대한 최적화 상품화
- 양액 재배의 특성을 고려한 기능 재배에 대한 연구
- 식물공장 구축 비용 : 1㎡ 당 910,000원

※ 식물공장 구축 범위 : 엽채류 재배베드(4Bay), 공조 시스템, 센서(온도, 습도, co2)와 실시간 데이터 수집 플랫폼

- 주요 수출 시장 : 국내, 중동/중앙아시아 시장
- 제품 판매 방법 : 주관 기관인 ㈜인성테크의 국내외 판매망 활용
- 재배베드의 각 요소별 양산체계 확립을 통하여 초기 구축비를 절감하여 산업화와 시장 확대
- 양액 재배 특성을 고려한 기능 재배에 대한 연구를 통한 재배력 확보

2. 연차별 개발목표 및 내용

(1) 1차년도

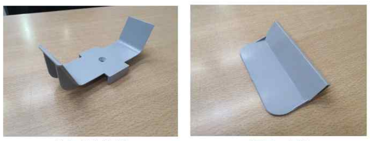
가. 개발목표

- 주관기관(인성테크) : 재배베드 프레임 / 재배거터의 모듈 금형화와 조립구조 개선/ 양액제어시스템 개발
- 협동기관1(신성이엔지) : 식물공장 내 환경조건 평가 / CFD를 이용한 공조환경 최적화와 엽채류 생산공장의 냉·난방 부하 최적설계
- 협동기관2(디엠엘이디) : 광합성광양자밀도(PPFD)가 120umol/m^2/s인 시제품 제작/조립성을 고려한 기구물 제작
- 협동기관3(엔씽) : 무선 온도, 조도, 습도 Co2 센서 개발 /데이터 수집용 무선통신 게이트웨이 개발 /MQTT 서버 센서 등록 환경 개발
- 협동기관4(에코바이오텍) : 작물에 알맞은 양액 조성물 Screening 및 조성물 개발/활성칼슘, 복합 활성미네랄 제조를 위한 연구 및 기술개발
- 협동기관5(한경대학교) : LED광원 조절에 따른 상추 ‘Fidel’의 생산성과 항산능의 변화에 연구

나. 개발 내용 및 범위

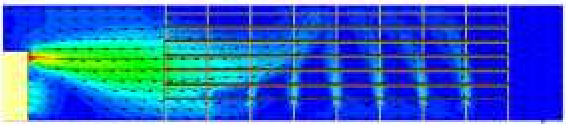
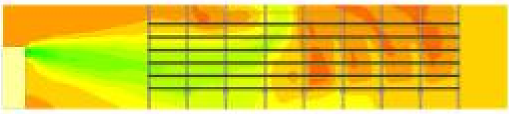
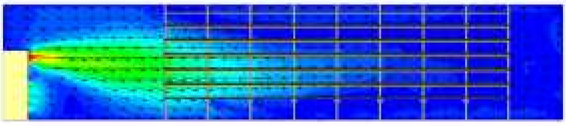
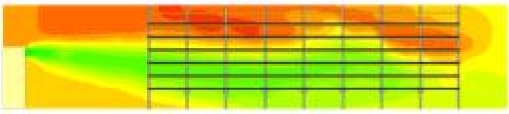
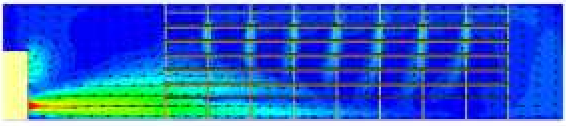
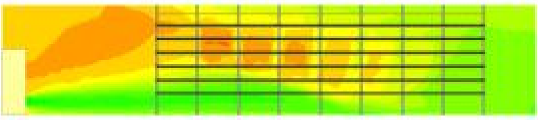
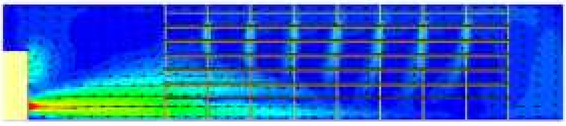
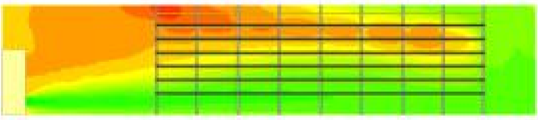
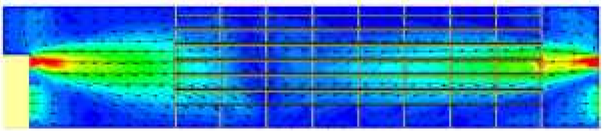
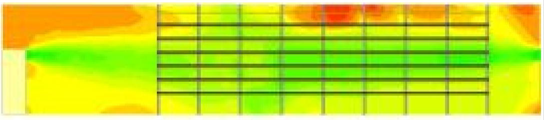
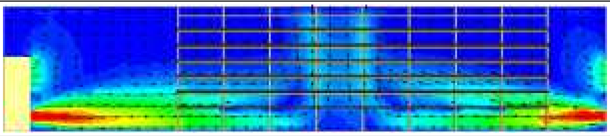
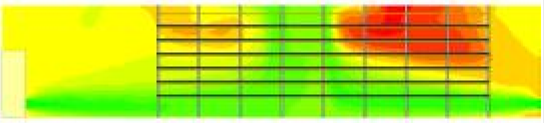
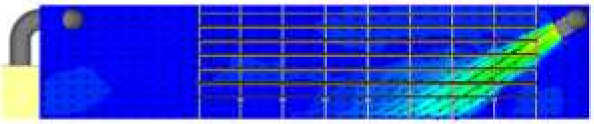
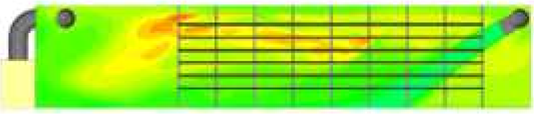
○ 주관기관(인성테크)

- :재배베드의 구성 모듈의 개선과 금형화
- 독립적인 양액 제어 시스템 개발

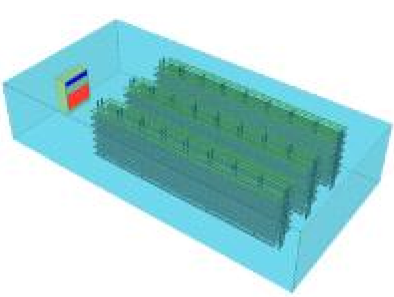
 [프레임 연결 브라켓] [모서리 보호 캡] [구조에 맞는 전용 AL 파이프] ['ㅁ'홈 구조로 단수 증가에 따른 재배프레임의 보강 구조]	○ 재배프레임의 AL Pipe를 '□' 구조로 6단 이상 재배베드를 설계 할시 확장성 구성. ○ 재배 AL Pipe끼리 조립을 간편화 하기 위한 연결 브라켓과 작업자의 안정성을 고려한 모서리 보호캡으로 구성.
 [재배거터의 금형화] [범용 배관 연결 모습]  [거터 받침대] [급수 마개]	○ 식물공장 재배베드 설계 시 공간에 맞춰 재배 라인을 설계 할 수 있도록 구성. ○ 급수마감재로 인하여 배양액 공급 시 배양액을 아래로 흐르게 도와주며 바로 앞에 있는 식물이 피해를 주지 않아 상품화율 증대
	○ 외형크기 : 180mm x 130 mm xH36mm ○ 측정범위 : pH 0.0 ~ 14.0, EC 0~5dS/m ○ 온도보정계수(@25℃) :pH ±0.05 (@ pH3 ~pH8) :EC ±2% F.S. (@ 0 ~4dS/m) ○ 사용전원 : DC 24V ○ 릴레이출력 : SPST AC250V, 3A Max 2접점 ○ 원액투입펌프 : DC 24V, 3W

○ 협동기관1(신성이엔지)

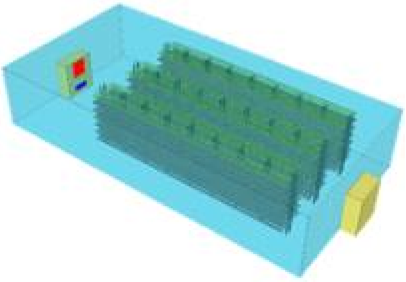
- 식물공장 내 환경조건 평가
- CFD를 이용한 공조환경 최적화 와 엽채류 생산공장의 냉·난방 부하 최적설계

Case	기류분포	온도분포
#1		
#2		
#3		
#4		
#5		
#6		
#7		

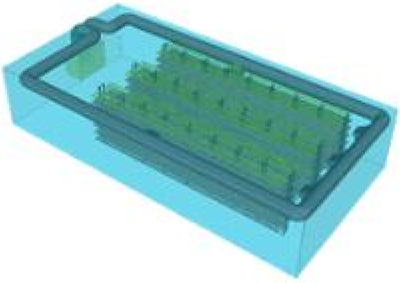
[식물공장 내부 기류 해석 결과]



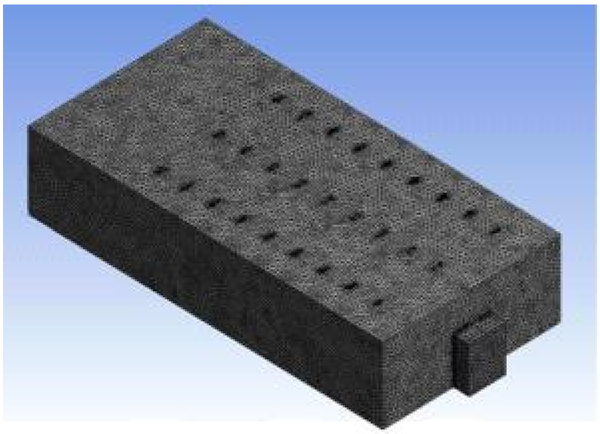
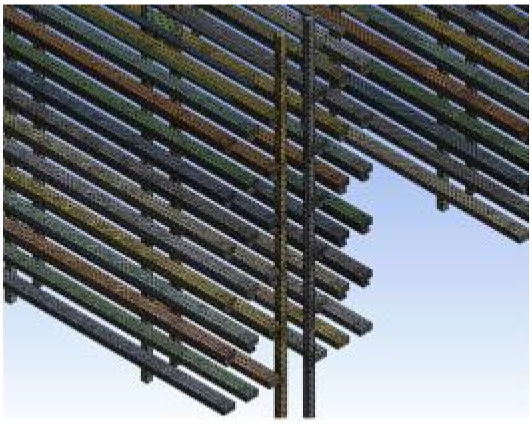
#1,2,3,4 Single 항온항습기



#5,6 Dual 타입 항온항습기



#7 Duct 타입 항온항습기

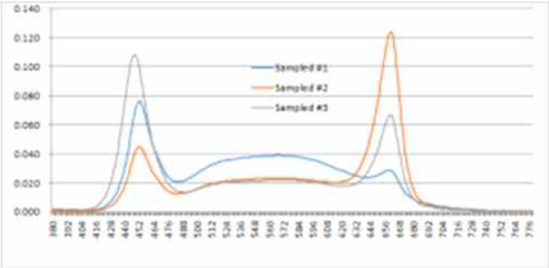
 

[식물공장 내부 풍속 및 온도 해석을 위한 모델링 및 Mesh]

○ 협동기관2(디엠엘이디)

- 광합성광양자밀도(PPFD)가 120umol/m^2/s인 시제품 제작
- 조립성을 고려한 기구물 제작

- 식물생장 최적 LED비율 확보 및 LED조명 기구 설계



Item	unit	Sampled #1	Sampled #2	Sampled #3
광속	Øv [lm]	2549.70	1688.40	1575.30
색온도	CCT [K]	5916.00	3968.00	27506.00
광효율	lm / W	126.85	84.21	77.99
소비전력	**W**	**20.10**	**20.05**	**20.20**
역률	PF	0.97	0.96	0.94
연색성	Ra	86.58	76.20	67.52
전원	Vf [V]	220.07	220.10	220.07
전원	If [mA]	90.00	90.00	100.00

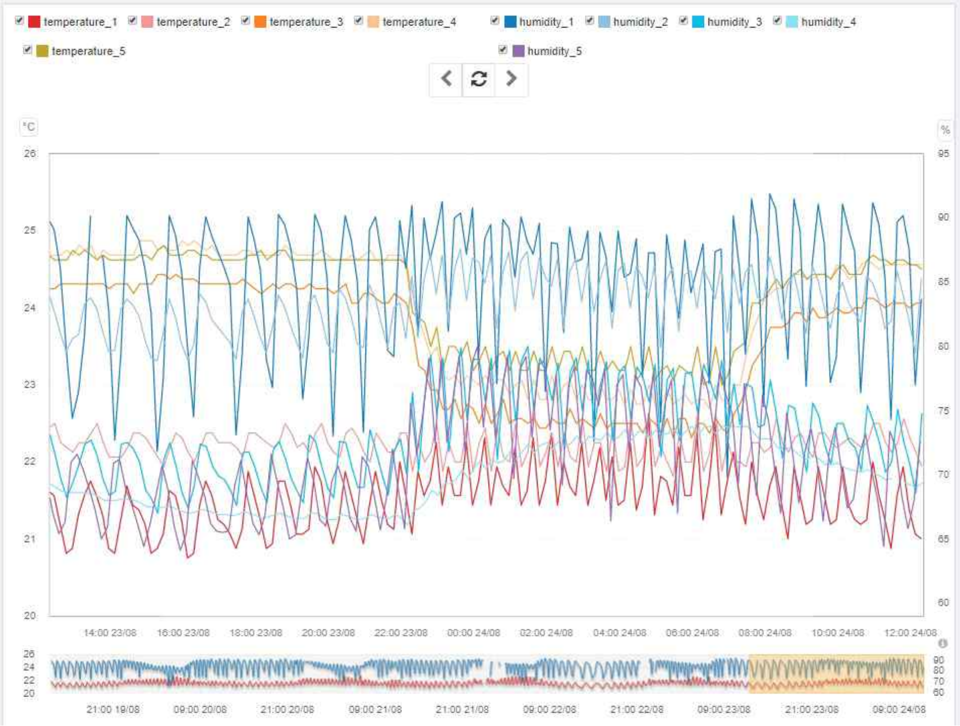
Øv [lm]	2549.70	1688.40	1575.30
lm/W	126.85	84.21	77.99
u-mol	128	128	119
u-mol/W	6.368	6.395	5.891

[광 비율 별 LED 파장 조사]

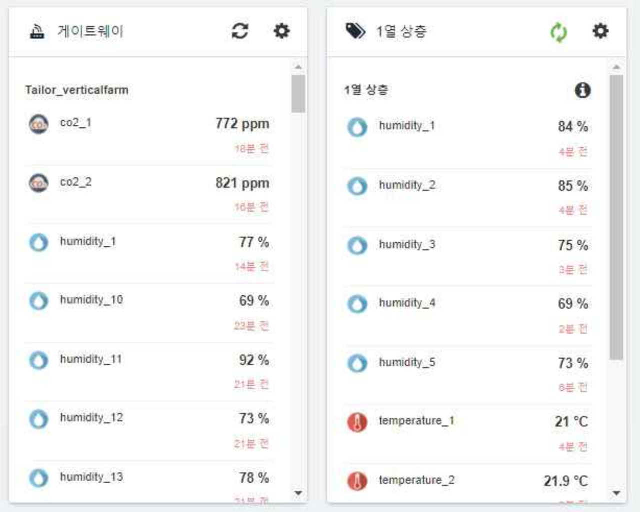
<table>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">[Heatsink 캡,클립 금형 작업]</td><td>[Sample 제작]</td></tr>
</table>

○ 협동기관3(엔씽)

- 무선 온도, 조도, 습도 Co2 센서 개발
- 데이터 수집용 무선통신 게이트웨이 개발
- MQTT 서버 센서 등록 환경 개발



[센서 데이터 수집 모니터링 화면과 온도 습도 변화량]

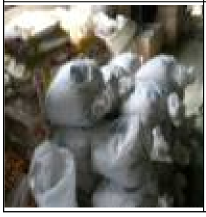
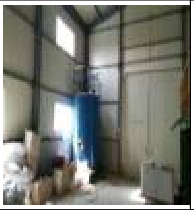


[실시간 센서 데이터 모니터링 화면]

○ 협동기관4(에코바이오텍)

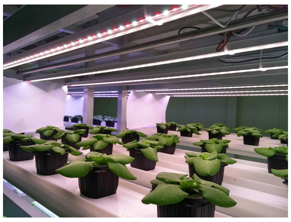
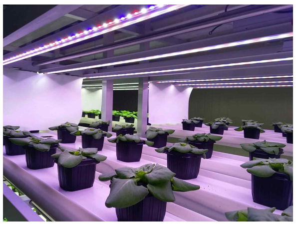
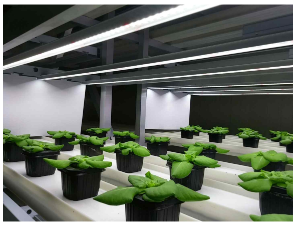
- 작물에 알맞은 양액 조성물 Screening 및 조성물 개발(피델)
- 활성칼슘, 복합 활성미네랄 제조를 위한 연구 및 기술개발 준비

○ : AMG와 HAC를 양액에 추가 시비를 한 결과 1,000배액과 500배액에서 생장이 비대해지는 것을 확인했으며, AMG와 HAC를 추가 시비하면 초기신장에 효과가 있을 것으로 나타남.

원료	반응기에 원료투입	(촉매제 저장탱크) 1. 암모니아 2. 묽은황산 3. 에틸알콜	여과기	침지액 저장탱크	제품 저장탱크
					

○ 협동기관5(한경대학교)

- LED광원 조절에 따른 상추 'Fidel'의 생산성과 항산능의 변화에 연구

※ DPPH 라디칼 소거능은 B2:R3:W5에서 82.8%로 가장 높은 활성을 나타냈으며 다음은 B0:R5:W5의 라디칼 소거능은 77.8%로 나타남.

※ 특정 파장과 양액에 의해서 기능성 물질과 생산성을 달라질 수 있음을 확인 함.

(2) 2차년도

가. 개발목표

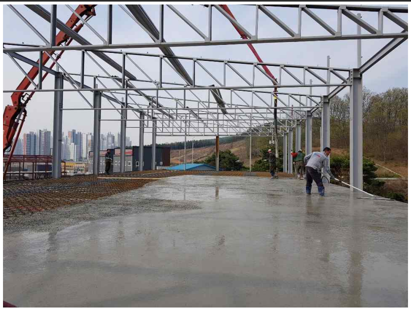
- 주관기관(인성테크) : 식물공장 시스템의 실질적인 모델구축/재배베드 구성 요소 개선
- 협동기관1(신성이엔지) : CFD를 활용한 기류 시뮬레이션/50평형 식물공장 재배사 실증평가
- 협동기관2(디엠엘이디) : 재배사 실증 모델 제작/설치 / 광특성 평가

- 협동기관3(엔씽) : 게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 개발/ 무선 컨트롤 모듈개발 / 원격 관제 어플리케이션 개발
- 협동기관4(에코바이오텍) : AMG와 HAC의 제조조건 확립/작물에 알맞은 양액 조성물 Screening 및 조성물 개발(케일)
- 협동기관5(한경대학교) : 식물공장내 황산암모늄 및 LED광원 조절에 따른 케일의 생산성과 기능성 물질의 변화에 연구

나. 개발 내용 및 범위

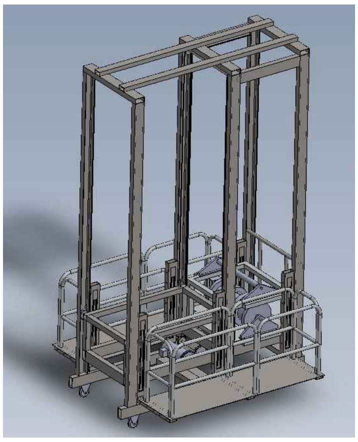
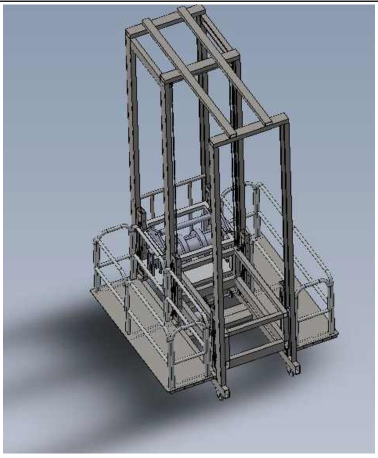
○ 주관기관(인성테크)

- 식물공장 시스템의 실질적인 모델구축
- 수확보조시스템의 3D 설계안 도출


[재배 건축물 공사]

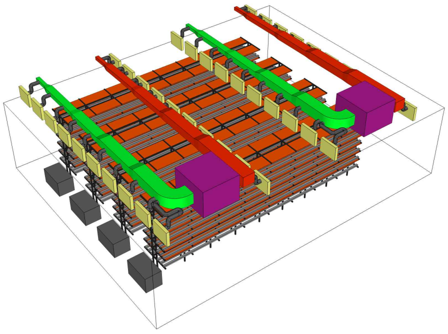
[식물공장 시스템 설치공사]

[실질적 모델 구축]

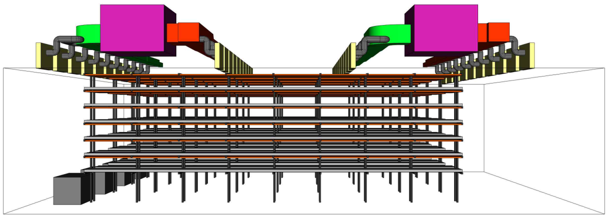


[수확 보조 시스템 설계]

○ 협동기관1(신성이엔지)

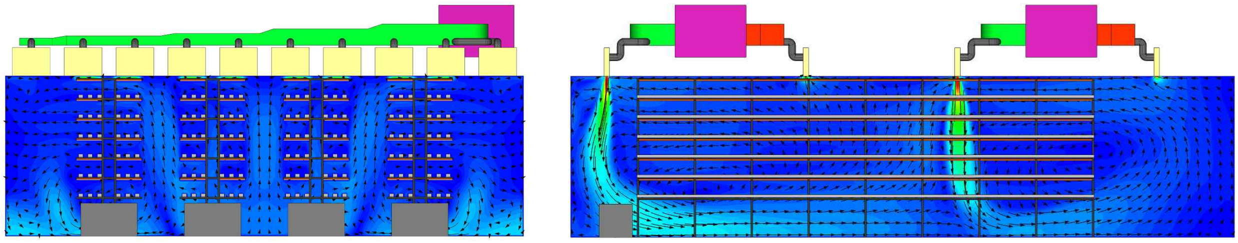
- CFD를 활용한 기류 시뮬레이션
- 50평형 식물공장 재배사 실증평가



식물공장 ISO View



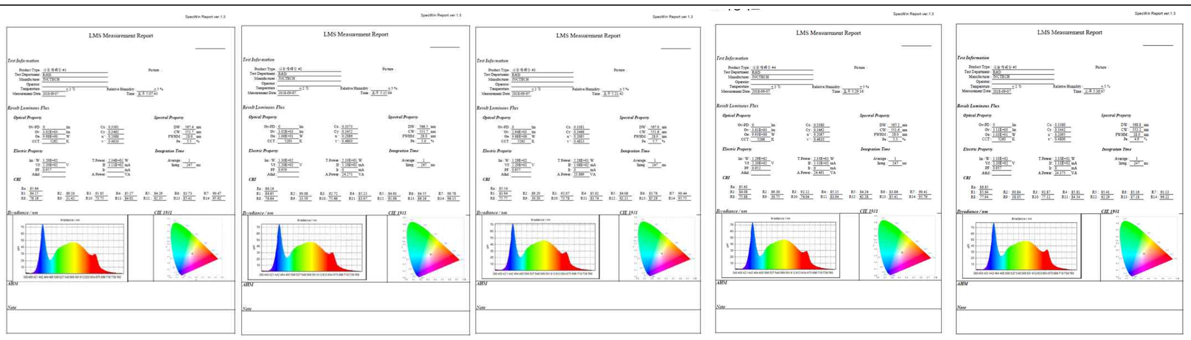
식물공장 측면 View

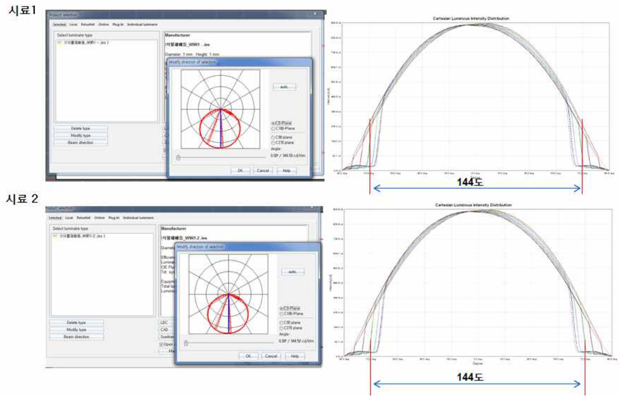


식물공장 내부 재배베이 반영된 풍속 Contour

○ 협동기관2(디엠엘이디)

- 재배사 실증 모델 제작/설치
- 광특성 평가



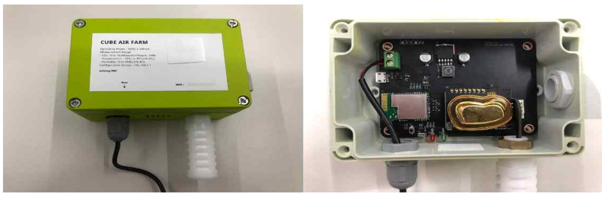


[광특성 평가]

[모듈 제작과 현장 설치]

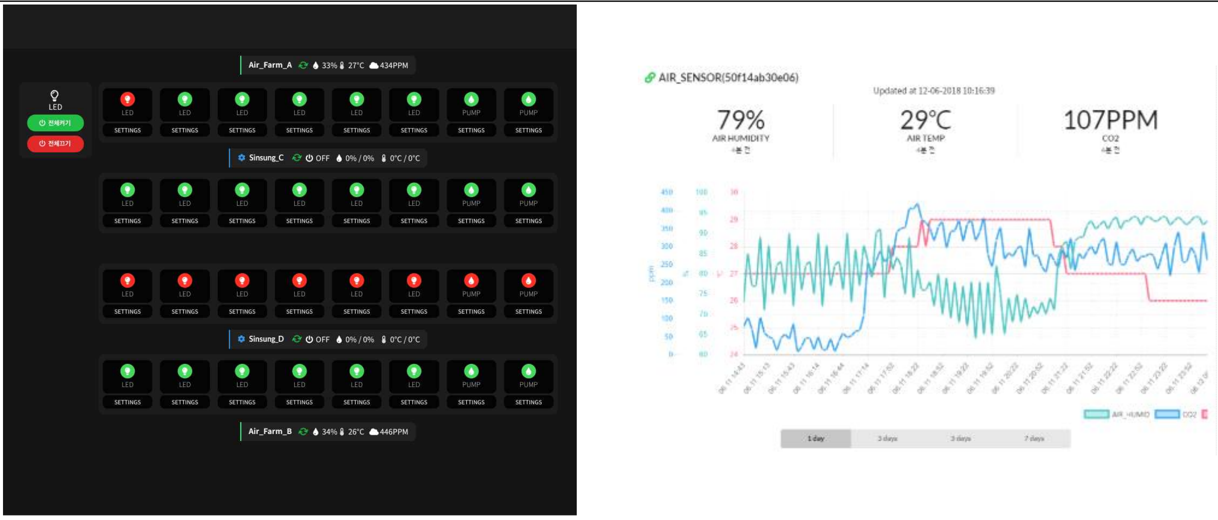
○ 협동기관3(엔씽)

- 게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 개발
- 무선 컨트롤 모듈개발
- 원격 관제 어플리케이션 개발



게이트웨이 통합형 무선 대기 센서 모듈 시작품

무선 재배기 다중 컨트롤 디바이스 모듈 시작품



식물공장 전용 대시보드 구성 화면

○ 협동기관4(에코바이오텍)

- AMG와 HAC의 제조조건 확립과 복합물의 원료배합 비율 제조시험
- 작물에 알맞은 양액 조성물 Screening 및 조성물 개발(케일)

▶A군 - 일반양액 + 개발제제 500배액	▶B군 - 일반양액 + 개발제제 1,000배액	▶C군 - 일반양액 + 개발제제 2,000배액	▶D군 - 대 조 구

※생육 단계별 공급량, 공급방법, 공급횟수의 기준을 설정하여 식물공장 재배사에서의 현장적용 작물시험(케일)

○ 협동기관5(한경대학교)

Trivial names	Abbreviation	Chemical Formula	Mw[z] of GSL	Response Factor[y]
Sinigrin	SIN	$C_{10}H_{16}NO_9S_2$	358	1.00
Gluconapin	GNP	$C_{11}H_{18}NO_9S_2$	372	1.11
4-OH glucobrassicin	4HGB	$C_{16}H_{19}N_2O_{10}S_2$	463	0.28
Glucobrassicin	GBS	$C_{16}H_{19}N_2O_9S_2$	447	0.29
4-methoxy glucobrasscin	4MGB	$C_{17}H_{21}N2O_{10}S_2$	477	0.25
Neoglucobrasscin	NGBS	$C_{17}H_{21}N_2O_{10}S_2$	477	0.20

※ 본 재배 연구를 통하여 6 개의 주요 글루코시놀레이트는 시니그린, 글루코브라시신, 글루코나핀, 4-OH 글루코브라시신, 4- 메톡시 글루코브라신 및 네오글루코브라신으로 확인되었으며, 결론적으로 S4와 B0:R5:W5의 조합은 총 글루코시놀레이트와 시니그린을 증가시키는데 가장 적합한 것으로 판단되었다.

(3) 3차년도

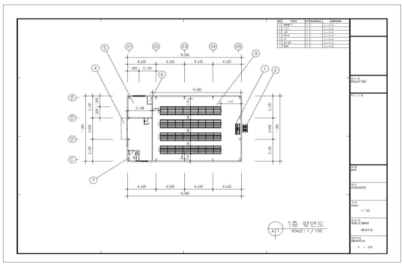
가. 개발목표

- 주관기관(인성테크) : 식물공장 시스템 구축모델 시운전/재배베드 구성 모듈별 사양 확정/식물공장 시스템에 대한 필요구성 도면화/수확보조 시스템 시제품 제작
- 협동기관1(신성이엔지) : 50평형 식물공장 재배사 2차 평가/BLDC 압축기를 적용한 가변부하 대응 에너지절감형 항온항습기 개발
- 협동기관2(디엠엘이디) : 식물재배용 조명 제품 규격화/안전인증 획득
- 협동기관3(엔씽) : 식물 공장 환경 및 전력 사용 데이터 수집 시스템 개발/ 내/외부 서버 기능 분리를 통한 로컬 독립 운영 시스템 구축
- 협동기관4(에코바이오텍) : 복합물 비료등록과 생산설비 구축/작물에 알맞은 양액 조성물 Screening 및 조성물 개발(바질)
- 협동기관5(한경대학교) : 식물공장내 LED광원 조절에 따른 바질의 생산성과 기능성 물질의 변화에 연구

나. 개발 내용 및 범위

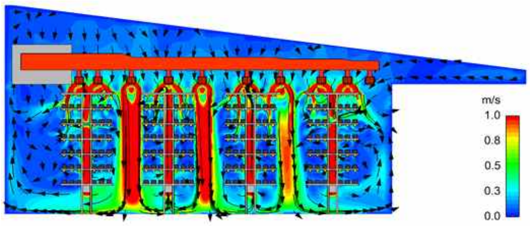
○ 주관기관(인성테크)

- 재배베드 구성 모듈별 사양 확정
- 식물공장 시스템 표준 설계도면 작성
- 수확보조 시스템 시제품 제작과 시운전을 통한 시스템 최적화

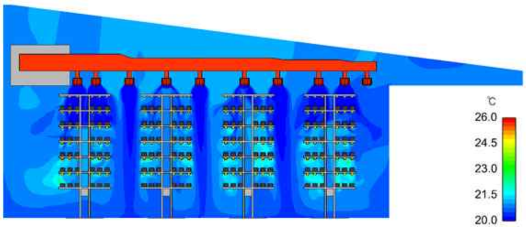
		
[재배베드 1 Bay 구성]	[표준 배치 도면 작성]	[수확보조시스템 시제품 제작]

○ 협동기관1(신성이엔지)

- 50평형 식물공장 재배사 2차 평가
- BLDC 압축기를 적용한 가변부하 대응 에너지절감형 항온항습기 개발



속도 분포

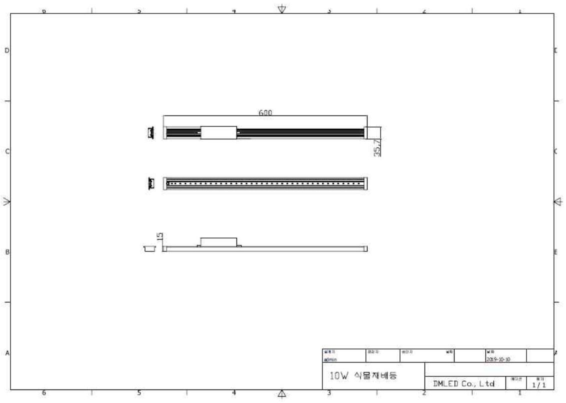


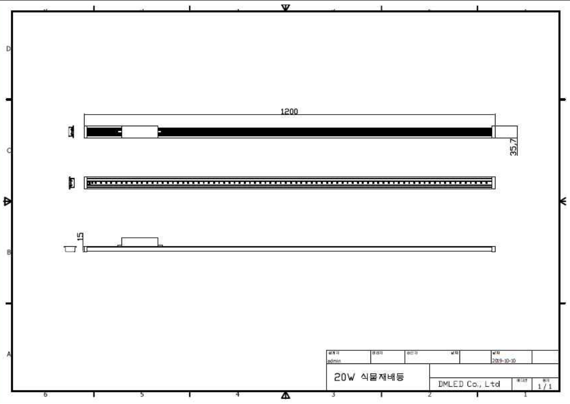
온도 분포

식물공장 내부 풍속, 온도 Contour - 현재 운전조건

○ 협동기관2(디엠엘이디)

- 식물재배용 조명 제품 규격화
- 안전인증 획득





[제품 규격화]

안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH11883-19025A
제품명: LED등기구(고정형)
기본모델명: DMGL-030-12SCR00
정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 30 W
2019 년 11 월 12 일
한국기계전기전자시험연구원장
Korea Testing Certification

안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH11883-19024A
제품명: LED등기구(고정형)
기본모델명: DMGL-020-12SCR00
정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 20 W
2019 년 11 월 12 일
한국기계전기전자시험연구원장
Korea Testing Certification

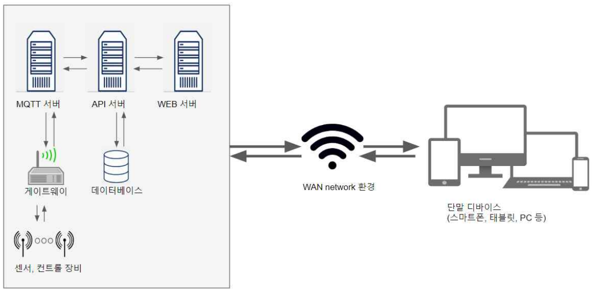
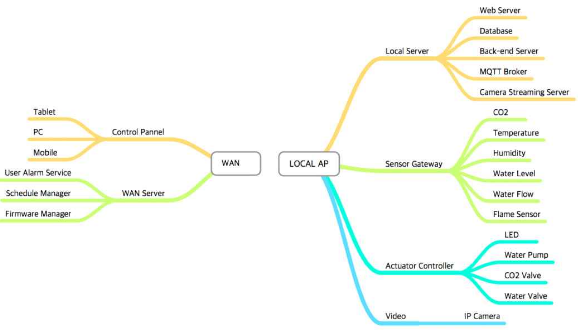
안 전 인 증 서
Safety Certificate

안전인증번호: HH11883-19026A
제품명: LED등기구(고정형)
기본모델명: DMGL-012-06SCR00
정격/안전기준상의 모델구분: 220 V~, 60 Hz, 11 W
2019 년 11 월 12 일
한국기계전기전자시험연구원장
Korea Testing Certification

[인증 획득]

○ 협동기관3(엔씽)

- 식물 공장 환경 및 전력 사용 데이터 수집 시스템 개발
- 내/외부 서버 기능 분리를 통한 로컬 독립 운영 시스템 구축

	
식물공장 전용 서버 및 인터페이스 구성도	내/외부 서버 기능분리 및 식물공장용 IoT 시스템 구성 도식도

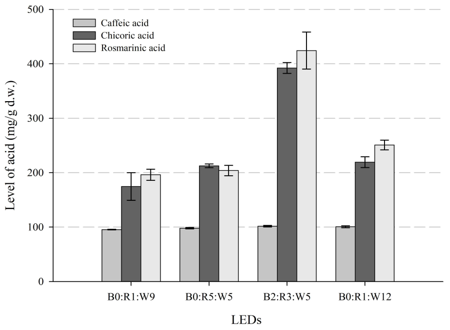
○ 협동기관4(에코바이오텍)

- 복합물 비료 생산구축을 통한 비료생산업 등록 완료
- 작물에 알맞은 양액 조성물 Screening 및 조성물 개발(바질)

기본양액(대조구)	기본양액 + 개발제제 500배액	기본양액 + 개발제제 1,000배액	기본양액 + 개발제제 2,000배액

○ 협동기관5(한경대학교)

- 식물공장내 LED광원 조절에 따른 바질의 생산성과 기능성 물질의 변화에 연구



○ 폴리페놀 화합물의 경우, 3가지 주요 폴리페놀이 rosmarinic acid, chicoric acid 및 caffeic acid으로 확인되었으며, B2:R3:W5 처리가 스위트바질의 동결 건조된 잎 50 g으로부터 추출된 essential oil의 최고 수율을 나타내었다.

3. 정량적 성과목표 달성 현황

가. 본 연구를 통하여 식물공장 생산시스템의 현장보급을 위한 실질적인 모델화 구축과 재배베드와 환경 구축에 포함이 되는 각 요소별 개선과 개발을 통하여 사업화를 위한 최종 목표를 정립하였음.

나. 주관기관에서 식물공장 시스템 제작판매 되는 단가와 환경 구축에 소요되는 비용에 경험을 토대로 개선/개발 되어야 할 사항과 개선 후 원가절감 가능성을 고려한 목표 구축 단가 설정.

(단위 : 만원)

항목	단위	비중 (%)	개발 목표	달성 현황	달성도 (%)	자체평가
1. 모델구축	개소	10	1	1	100	자체운영에 의한 식물판매로 평가
2. 구축단가	m^2	15	91	72	100	각 시스템 별 단가 산정
3. 재배베드(단가)	m^2	10	80	61	100	사업화/재배 구축과 운전을 통한 평가
4. 공조장치(단가)	대	10	1500	1500	100	표준형 공조장치(15RT)운전 평가
5. 센서와 제어장치(단가)	SET	10	200	200	100	해당 장치 구축과 운전 평가
6. 인공광원사양	건	5	1	1	100	당초 목표 개발 사양 충족
7. 공조장치의 에너지 효율	계수	5	2.7	3.31	100	한국 냉동 공조인증 센터 평가
8. 센씽장치의 데이터 성능	sample /min	5	100	118	100	자체평가
9. 제품화	개	10	3	6	100	KC인증/전자파인증 획득 제품
10. 기술실시	건	10	1	5	100	
11. 양액개발	건	5	1	1	100	비료생산업 등록
12. 분석과 재배력 확립	건	5	3	3	100	작물의 재배력과 기능성 분석법확립

※ 정량적 성과 성과목표대비 100% 이상 달성 / 재배베드 구축 단가는 목표 대시 130% 단가 절감

※ 재배베드는 누구나 쉽게 배치할 수 있으며 규모 확장이 용이하도록 1 Bay 별 구성.

※ 재배베드 부속의 금형화로 인한 설치기간 40% 절감
※ 공조시스템의 EER은 소비전력대비 냉방능력 표시 계수(2.7 이상부터 고효율 인증)
※ 센씽장치는 본 연구 내용 중 재배관리 플랫폼의 처리에 대한 내용이며, 자체 개발 게이트웨이에서 전송한 센서 데이터를 무선 네트워크를 통해 전송하고 개발한 타켓 서버에서 저장과 처리 성능 평가

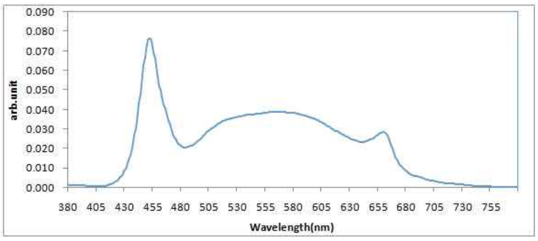
다. 식물공장 시스템 구성 사양

○ 재배베드 사양

구분	엽채류 재배베드 사양
설치 수량	- 엽채류 재배베드 : 4 Bay
사이즈 재배베드	- 10m x 1.4m x 3m(H), 6단 (단수 및 길이 조절 가능(길이는 1.2m 간격으로 조절이 가능))
관수 방식	- NFT 재배 방식
총 Pot 수	- 총 8,064 Pot (1 Bay : 2,016 Pot 거터 6 line, 재배판 7구(재식거리 17cm * 20cm 기준))
프레임 재질	· 43 x 43 x 1.4T AL파이프를 통한 경량 구조 · 식물공장에 특수성을 살린 전용 알루미늄 사용(아노다이징 코팅) · 하기 3종의 AL파이프 끼리 결합시 용접이나 본드를 사용하지 않아 유해 물질 및 부식에 대한 방지. · 순환되는 양액의 하중을 감안한 격벽 구조의 설계.
식물생장 LED	· 1190mm, 36v/24w / W+R조합 (White에 경우 R+G+B의 혼합) / 파장대 440nm ~ 660nm · Housing 구조의 LED Clip 포함, 총 LED 개수 : 1,152 Bar(1 Bay : 288 bar)
재배 베드	· 재배 거터 : 103mm X 55mm X 9700m, 1단에 6열 · 소재 : ABS /개수 : 36 EA / 6단 배치 ※ 재배판 슬라이딩 구조
재배판	· 소재 : ABS / 개수 : 288 EA / 6단 배치 · 사이즈 : 1.2m X 1T, 7타공
배양액 순환 시스템	· 배양액 순환 배관(PB배관/PVC 배관), 단 별 급수 조절 밸브(원터치 밸브), 양액 배합통 400L
기류이동 시스템	· 총 : 28 EA(1 Bay : 6 EA) · 재배베드 하단 기류 이동 시스템, 순환 Fan 1.2m 간격 배치
양액 제어 시스템	· 제어 PCB 4 SET (Ph, EC 센서 포함) · 양액 원액 투입 펌프 4 SET(각 A, B, C 펌프)

※ 인공광원 사양 첨부

Item	Unit	DMGL-020-12SCR00
소비전력	W	20W
입력전압	Vac	200~240
입력주파수	Hz	50-60
역률	-	0.9이상
파장	White	White(Blue+Yellow)
	RED	660nm
LED 비율 *	R:W:B	1:12:0
PPFD (@25cm)	umol/m^2/s	>120
배광각도	-	140
제품사이즈	mm	1200(L)*35.7(W)*40(H)



○ 공조장치 사양

구 분		사 양	비 고
		항온항습기 실내기 사양	
설치수량		1대	
처리열량		46,440 kcal/h	- Eva Temp: 5℃ - Cond Temp : 40 ℃ - 냉매 : R-410a
장비 사이즈		Casing : 1,800 x 800 x 1,900H W(mm) x L(mm) x H(mm)	
전원사양		3상 3선식, 380V, 60Hz	
Dx Coil	Tube size	5/8”	- 열교환기 열량 45,726 kcal/h - 차압 : 10mmAq
	Pass	18	
	Row	2 row	
	Fin	4.3 fin/cm	
Reheat Coil	Tube size	3/8”	- 열교환기 열량 24,690 kcal/h - 차압 : 5mmAq - △T = 5℃
	Pass	18	
	Row	2	
	Fin	3.9 fin/cm	
실내기	처리풍량	126 CMM	- 환기횟수 15회 기준 121.3 CMM
Fan	정압	25 mmAq	- 정압선정 : 5mmAq(Pre Filter) + 10mmAq(Dx) + 5mmAq(Reheat) + 5mmAq(여유율)
	팬 소비전력	2 kW x 1EA	
실외기	장비 사이즈	Casing : 1,860 x 935 x 1,704H (제어판넬 750 x 280 x 1,200H)	- 실외기 설치 위치 별도 - 전원사양 : 실내기 동일 - 제어판넬 포함
	실외기 풍량	380 CMM	
	실외기 펜 출력	0.75 kW x 2EA	
Filter Size	Pre filter	795 x 1,600 x 10t x 1EA	

○ 센서와 제어장치 사양

※ 공조 센서 표준 사양서

구분	사양	비고
설치 수량	2대	
사용 전압	5VDC	
소비 전류	450mA	
통신 방식	802.11n, TCP/IP	
Configuration Access Address	192.168.1.1	
전원 커넥터 사양	USB Type A	
사이즈 W(mm) x L(mm) x H(mm)	132.5x133.5x55.8	- 에어필터 포함 - 환풍구 포함
이산화탄소 측정 범위	0 to 10,000ppm	
이산화탄소 측정 오차 범위	±30ppm, ±5%	
대기 온도 측정 범위	-10°C to 85°C	
대기 온도 측정 오차 범위	±0.4°C	
대기 습도 측정 범위	0 to 95%	
대기 습도 측정 오차 범위	±5% RH	

※ 재배기 컨트롤러(1CH/4CH) 표준 사양서

구분		사양	비고
설치 수량	1CH	2대	- 공조기 컨트롤용(2)
	4CH	8대	- 재배기 컨트롤용(8)
사용 전압		5VDC	
소비 전류		450mA	
통신 방식		802.11n, TCP/IP	
확장 인터페이스	1CH	UART	
Configuration Access Address		192.168.1.1	
전원 커넥터 사양		USB Micro Type B	
사이즈 W(mm) x L(mm) x H(mm)	1CH	88x52.22x37.5	- 외부 터미널 단자 제외
	4CH	134x52.22x37.5	- 외부 터미널 단자 제외

4. 연구성과목표달성 현황

(단위 : 백만원, 수출액, 건수)

성과목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용등)
												논문								
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI	논문평균IF	학술발표			정책활용	홍보전시	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치	20	25		5		20			5											25
최종목표	5	5		1		3			3			2	3							2
연구기간내 달성실적	5	5		5	29	3	728		5			2	4		4		2		3	
달성율(%)	100	100		100	100	100	100		100			100	100		100		100		100	100

※ 기타(타연구활용등)에 경우 표준설계도 2건에 대한 성과 기입
※ 당초 계획 대비 100% 이상 초과 목표 달성

○ 특허 현황

구분	특허번호	발명의명칭
등록특허	10-2018912	식물공장의 식물성장용 인공광원 장치의 패키지 구조
	10-2035865	식물공장용 이산화탄소 자체 농축형 히트펌프 항온항습기 및 그 제어 방법
	10-2036006	식물공장용 에너지 절감형 히트펌프 항온항습기 및 그 제어 방법
	10-2039744	식물공장용 작물 생육 환경 조건 제어값 산출을 위한 패드백 제어 데이터를 수집하고 분석하기 위한 제어방법
	20-0489993	식물공장용 반자동 작물 수확 장치
출원특허	10-2018-0075953	고활성칼슘과 복합 활성미네랄을 포함한 신규한 비료의 제조방법

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number: 제 10-2018912 호
출원번호 Application Number: 제 10-2017-0184938 호
출원일 Filing Date: 2017년 12월 29일
등록일 Registration Date: 2019년 08월 30일

발명의명칭 Title of the Invention
식물 공장의 식물성장용 인공 광원 장치의 패키지 구조

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
박병관(750820-*******)
경기도 시흥시 마유로186번길 47 (정왕동)

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2019년 08월 30일
QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
특허청 Korean Intellectual Property Office

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number: 제 10-2035865 호
출원번호 Application Number: 제 10-2019-0062193 호
출원일 Filing Date: 2019년 05월 27일
등록일 Registration Date: 2019년 10월 17일

발명의명칭 Title of the Invention
식물공장용 이산화탄소 자체 농축형 히트펌프 항온항습기 및 그 제어 방법

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2019년 10월 17일
QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
특허청 Korean Intellectual Property Office

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number: 제 10-2036006 호
출원번호 Application Number: 제 10-2018-0076169 호
출원일 Filing Date: 2018년 06월 30일
등록일 Registration Date: 2019년 10월 18일

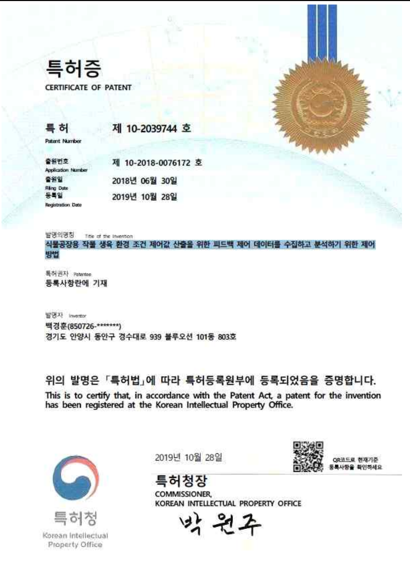
발명의명칭 Title of the Invention
식물공장용 에너지 절감형 히트펌프 항온항습기 및 그 제어 방법

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2019년 10월 18일
QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
특허청 Korean Intellectual Property Office



특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number: 제 10-2039744 호
출원번호 Application Number: 제 10-2018-0076172 호
출원일 Filing Date: 2018년 06월 30일
등록일 Registration Date: 2019년 10월 28일

발명의명칭 Title of the Invention
식물공장용 작물 생육 환경 조건 제어값 산출을 위한 피드백 제어 데이터를 수집하고 분석하기 위한 제어 방법

특허권자 Patentee
등록사항란에 기재

발명자 Inventor
백경훈(850726-*******)
경기도 안양시 동안구 경수대로 939 블루오션 101동 803호

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2019년 10월 28일
QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
특허청 Korean Intellectual Property Office

실용신안등록증
CERTIFICATE OF UTILITY MODEL REGISTRATION

등 록 Registration Number: 제 20-0489993 호
출원번호 Application Number: 제 20-2018-0003016 호
출원일 Filing Date: 2018년 06월 30일
등록일 Registration Date: 2019년 08월 30일

고안의 명칭 Title of the Device
식물공장용 반자동 작물 수확 장치

실용신안권자 Owner of the Utility Model Right
등록사항란에 기재

고안자 Deviser
김인수(600505-*******)
경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3

위의 고안은 「실용신안법」에 따라 실용신안등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Utility Model Act, a utility model for the device has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2019년 08월 30일
QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요
특허청장
COMMISSIONER, KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE
특허청 Korean Intellectual Property Office

1. 귀사의 사업이 번창하기를 기원합니다.

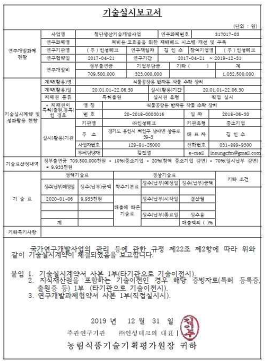
2. 귀사에서 의뢰한 하기 특허출원이 완료되었기에 알려드리며, 출원번호통지서 및 출원서류를 동봉하오니 참조하시기 바랍니다.

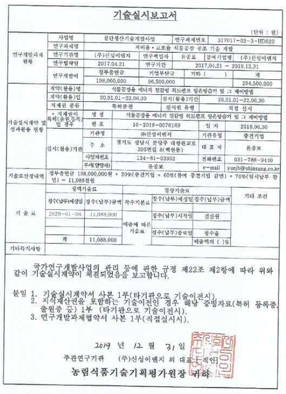
3. 심사절차 및 출원인 유의사항

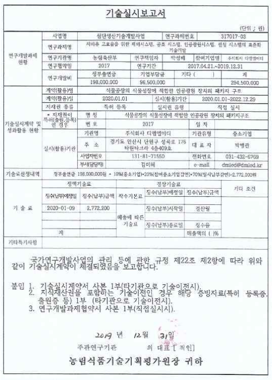
Our Ref.	YDP70865
출원인 / 발명자	㈜에코바이오텍, 주식회사 엔씽, ㈜인성테크, ㈜신성이엔지, ㈜디엠엘이디 / 구자준
출원일자 / 출원번호	2018년 06월 29일 / 제 10-2018-0075953호
[국가연구개발사업] 과제번호/과제명/연구기간	1545014928 / 저비용·고효율을 위한 재배베드 시스템 개선 및 구축/ 2017.04.21 ~ 2017.12.31
발명의 명칭	고활성칼슘과 복합 활성미네랄을 포함한 신규한 비료의 제조방법

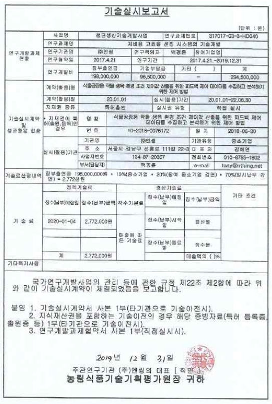
3. 출원인 유의사항
가. 해외특허
본 발명에 대해 해외특허를 받고자 하실 경우에는 2019년 06월 29일까지 국제출원 또는 외국출원을 하셔야 우선권이 인정됩니다. 해외특허를 얻고자 하실 경우에는 2019년 04월 29일까지 당소로 연락 주십시오.
나. 주소변경 및 권리양도
출원인의 주소나 연락처가 변경된 경우 출원인정보를 변경해야 하오니 필히 변경사항을 알려주십시오. 한편, 출원발명을 제3자에게 양도할 경우 당소에 문의하시기 바랍니다.

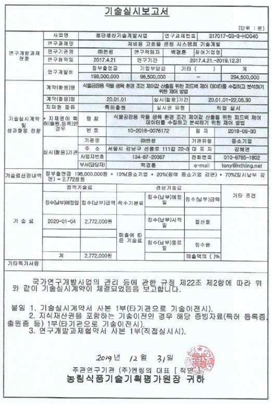
○ 기술 실시

 기술실시보고서 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다. 붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시). 2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부 (타기관으로 기술이전시). 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시). 2019 년 12 월 31 일 농림식품기술기획평가원장 귀하	○ 직접실시에 의한 기술실시 ○ 대상기술 : 20-0489993 / 식물공장용 반자동 작물 수확 장치 ○ 상기 기술은 본 과제의 기술개발에 의한 내용으로 사업화에 있어 매우 중요한 기술임.

 기술실시보고서 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다. 붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시). 2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부 (타기관으로 기술이전시). 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시). 2019 년 12 월 31 일 농림식품기술기획평가원장 귀하	○ 직접실시에 의한 기술실시 ○ 대상기술 : 10-2036006 / 식물공장용 에너지 절감형 히트펌프 항온항습기 및 그 제어 방법 ○ 상기 기술은 본 과제의 기술개발에 의한 내용으로 사업화에 있어 매우 중요한 기술임.

 기술실시보고서 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다. 붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시). 2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부 (타기관으로 기술이전시). 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시). 2019 년 12 월 31 일 농림식품기술기획평가원장 귀하	○ 직접실시에 의한 기술실시 ○ 대상기술 : 10-2018912 / 식물공장의 식물성장용 인공광원 장치의 패키지 구조 ○ 상기 기술은 본 과제의 기술개발에 의한 내용으로 사업화에 있어 매우 중요한 기술임.

 기술실시보고서 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다. 붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시). 2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부(타기관으로 기술이전시). 3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시). 2019 년 12 월 31 일 농림식품기술기획평가원장 귀하	○ 직접실시에 의한 기술실시 ○ 대상기술 : 10-2039744 / 식물공장용 작물 생육 환경 조건 제어값 산출을 위한 패드백 제어 데이터를 수집하고 분석하기 위한 제어방법 ○ 상기 기술은 본 과제의 기술개발에 의한 내용으로 사업화에 있어 매우 중요한 기술임.

	○ 직접실시에 의한 기술실시 ○ 대상기술 : 10-2018-0075953 / 고활성칼슘과 복합 활성미네랄을 포함한 신규한 비료의 제조방법 ○ 상기 기술은 본 과제의 기술개발에 의한 내용으로 사업화에 있어 매우 중요한 기술임.

기술실시보고서

(단위 : 원)

연구개발과제 현황	사업명	첨단생산기술개발사업	연구과제번호	317017-03-3-HD040		
	연구과제명	저비용 고효율 센싱 시스템의 기술개발				
	연구기관명	㈜엔씽	연구책임자	백경훈	참여기업명	
	연구협약일	2017.4.21	연구기간	2017.4.21.~2019.12.31		
	연구개발비	정부출연금	기업부담금	기타 ( )	계	
		198,000,000	96,500,000	-	294,500,000	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	식물공장용 작물 생육 환경 조건 제어값 산출을 위한 피드백 제어 데이터를 수집하고 분석하기 위한 제어 방법				
	계약(활용)일	20.01.01	실시(활용)기간	20.01.01~22.06.30		
	지재권 종류	특허출원	실시권 유형	직접 실시		
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명칭	식물공장용 작물 생육 환경 조건 제어값 산출을 위한 피드백 제어 데이터를 수집하고 분석하기 위한 제어 방법			
		번호	10-2018-0076172	일자	2018-06-30	
	실시(활용)기관	기관명	㈜엔씽	기관유형	중소기업	
		주소	서울시 강남구 선릉로 111길 22-3	대표자	김혜연	
		사업자번호	134-87-20367	전화번호	010-8785-1802	
		부서(담당자)	백경훈	e-mail	tony@nthing.net	
기술료산정내역	정부출연금 198,000,000원 • 10%(중소기업 • 20%(참여 중소기업 감면) • 70%(일시납부 감면) = 2,772천원					
기술료	정액기술료		경상기술료			기타 조건
	징수(납부)예정일	징수(납부)금액	착수기본료	징수(납부)예정일	징수(납부)금액	
	2020-01-04	2,772,000원	매출에 따른 기술료	징수(납부)시작일	결산별	
				징수(납부)종료일	징수율	
	계	2,772,000원			매출액의 ( )%	
기타특기사항						

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다.

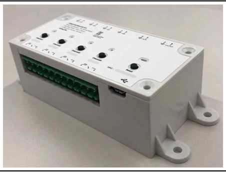
붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시).
2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부(타기관으로 기술이전시).
3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).

2019년 12월 31일

주관연구기관 (주)엔씽의 대표 [직인]

농림식품기술기획평가원장 귀하

○ 사업화

구분	제품명	제품사진	제품출시일	매출액 (백만원)	
1	LED 엽채류 재배베드		2019.2	국내	727
2	무선공조센서		2019.11.12	국내	1
3	무선센서제어기1CH		2019.11.12	국내	0.18
4	무선센서제어기4CH		2019.11.12	국내	0.48

전자세금계산서 상세조회

공급자

등록번호	129-81-25000	종사업장번호	
상호	주식회사인성테크	성명	김인수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
이메일	insungcfm@gmail.com		

공급받는자

등록번호	118-81-03914	종사업장번호	
상호	(주)농심	성명	박준
사업장	서울특별시 동작구 여의대방로 112(신대방동)		
업태	제조	종목	라면류, 스낵류, 기호식품
이메일	kangc10@nongshim.com		
이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-01-30	22,000,000	2,200,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
01	30	LED 엽채류 재배베드				22,000,000	2,200,000	

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190116-10000000-33053624

· 전자세금계산서_일반

공급자

등록번호	129-81-25000	종사업장번호	
상호	주식회사인성테크	성명	김인수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
이메일	insungcfm@gmail.com		

공급받는자

등록번호	298-81-01100	종사업장번호	
상호	농업회사법인 에스에스팜 주식회사	성명	이영태
사업장	경상북도 영덕군 강구면 금호샛길 63		
업태	제조업	종목	태양광 시설장비
이메일	jbkim@krems.kr		
이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-01-16	13,950,000	1,395,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
01	16	식물공장 시스템				13,950,000	1,395,000	계약금

수정발급 | 복사발급 | 닫기 | XML파일내려받기 | 출력 | 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190121-10000000-34543384

· 전자세금계산서_일반

공급자

등록번호	129-81-25000	종사업장번호	
상호	주식회사인성테크	성명	김인수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
이메일	insungcfm@gmail.com		

공급받는자

등록번호	134-81-55919	종사업장번호	
상호	우리ETI(주)	성명	차기현
사업장	경기도 안산시 단원구 성곡로 79, 1층(성곡동, 608블럭 30롯트)		
업태	제조	종목	인쇄회로기판, 전자제품및부품제조업
이메일	yhkwon@wooree.co.kr		
이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-01-21	9,750,000	975,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
01	21	LED엽채류재배베드				9,750,000	975,000	중도금1

수정발급 | 복사발급 | 닫기 | XML파일내려받기 | 출력 | 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190225-10000000-55263498

· 전자세금계산서_일반

공급자

등록번호	129-81-25000	종사업장번호	
상호	주식회사인성테크	성명	김인수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
이메일	insungcfm@gmail.com		

공급받는자

등록번호	298-81-01100	종사업장번호	
상호	농업회사법인 에스에스팜 주식회사	성명	이영태
사업장	경상북도 영덕군 강구면 금호샛길 63		
업태	제조업	종목	태양광 시설장비
이메일	jbkim@krems.kr		
이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-02-25	13,950,000	1,395,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
02	25	식물공장시스템				13,950,000	1,395,000	잔금

수정발급 | 복사발급 | 닫기 | XML파일내려받기 | 출력 | 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190211-10000000-49343173

· 전자세금계산서_일반

공급자

등록번호	129-81-25000	종사업장번호	
상호	주식회사인성테크	성명	김인수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
이메일	insungcfm@gmail.com		

공급받는자

등록번호	298-81-01100	종사업장번호	
상호	농업회사법인 에스에스팜 주식회사	성명	이영태
사업장	경상북도 영덕군 강구면 금호샛길 63		
업태	제조업	종목	태양광 시설장비
이메일	jbkim@krems.kr		
이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-02-11	18,600,000	1,860,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
02	11	식물공장 시스템				18,600,000	1,860,000	중도금

수정발급 | 복사발급 | 닫기 | XML파일내려받기 | 출력 | 출력(A5)

◉ 매출 ○ 매입 조회기간 작성일자 2019-03-01 ~ 2019-03-31 1주일

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190306-10000000-63379283

· 전자세금계산서_일반

공급자

등록번호	129-81-25000	종사업장번호	
상호	주식회사인성테크	성명	김인수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
이메일	insungcfm@gmail.com		

공급받는자

등록번호	312-82-02213	종사업장번호	
상호	연암대학교	성명	육근열
사업장	충청남도 천안시 서북구 성환읍 연암로 313		
업태	교육,제조	종목	학교, 유제품
이메일	nkw@yonam.ac.kr		
이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-03-06	61,581,818	6,158,182	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
03	06	수직농장(식물공장)재배시설구축공사				61,581,818	6,158,182	

수정발급 | 복사발급 | 닫기 | XML파일내려받기 | 출력 | 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190529-10000000-28811618

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	517-81-00531
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	주식회사 농업회사법인 어반팜
성명	김인수	김태엽
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	경기도 광주시 오포읍 마루들길 172번길 30, 1동(D)
업태	제조	농업,도소매
종목	기계부품가공, 기계제작	채소,화훼, 종묘, 과실 및 기타작물재배업
이메일	insungcfm@gmail.com	airmir1@paran.com
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-05-29	35,224,000	3,522,400	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
05	29	LED 식물공장 시스템				35,224,000	3,522,400	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190513-10000000-21992614

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	312-82-02213
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	연암대학교
성명	김인수	육근열
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	충청남도 천안시 서북구 성환읍 연암로 313
업태	제조	교육,제조
종목	기계부품가공, 기계제작	학교, 유제품
이메일	insungcfm@gmail.com	nkw@yonam.ac.kr
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-05-13	143,690,909	14,369,091	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
05	13	수직농장(식물공장) 재배시설 구축공사				143,690,909	14,369,091	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190701-10000000-52763156

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	206-86-19187
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	주식회사 드림셀
성명	김인수	김정대
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	서울특별시 성동구 송정 12바길 35(송정동)
업태	제조	도소매
종목	기계부품가공, 기계제작	생명공학실험용시약판매
이메일	insungcfm@gmail.com	dreamcell@bill36524.com
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-07-01	95,000,000	9,500,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
07	01	LED 엽채류 재배베드 외				95,000,000	9,500,000	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190809-10000000-85377603

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	142-81-75177
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	에코트 주식회사
성명	김인수	박현진
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	경기도 양주시 광적면 부흥로 847, 423호(양주테크노시티)
업태	제조	제조업
종목	기계부품가공, 기계제작	마스크 외
이메일	insungcfm@gmail.com	ecott3@hometax.go.kr
이메일		sunesee@naver.com

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-08-09	60,000,000	6,000,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
08	09	새싹작물 재배베드 3종				60,000,000	6,000,000	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20190919-10000000-20868471

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	517-81-00531
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	주식회사 농업회사법인 어반팜
성명	김인수	김태엽
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	경기도 광주시 오포읍 마루들길 172번길 30, 1동(D)
업태	제조	농업,도소매
종목	기계부품가공, 기계제작	채소,화훼, 종묘, 과실 및 기타작물재배업
이메일	insungcfm@gmail.com	airmir1@paran.com
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-09-19	70,448,000	7,044,800	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
09	19	식물공장 시스템				70,448,000	7,044,800	중도금

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20191011-10000000-39590598

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	517-81-00531
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	주식회사 농업회사법인 어반팜
성명	김인수	김태엽
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	경기도 광주시 오포읍 마루들길 172번길 30, 1동(D)
업태	제조	농업,도소매
종목	기계부품가공, 기계제작	채소,화훼, 종묘, 과실 및 기타작물재배업
이메일	insungcfm@gmail.com	airmir1@paran.com
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-10-11	70,448,000	7,044,800	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
10	11	식물공장 시스템				70,448,000	7,044,800	잔금

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20191127-10000000-69337594

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	773-86-00704
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	(주)드림팩토리
성명	김인수	고은희,신범수
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	경기도 남양주시 진건읍 진건오남로 300, 2층
업태	제조	도매및소매업
종목	기계부품가공, 기계제작	서적,잡지 및 신문
이메일	insungcfm@gmail.com	sbsboy@dreamfc.co.kr
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-11-27	19,877,027	1,987,703	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
11	27	식물공장 시스템				19,877,027	1,987,703	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호	20191125-10000000-68124896

· 전자세금계산서_일반

	공급자	공급받는자
등록번호	129-81-25000	112-81-38619
종사업장번호		
상호	주식회사인성테크	(주)우리기술
성명	김인수	노갑선
사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3	서울특별시 마포구 월드컵북로56길 9(상암동, 우리기술빌딩4층)
업태	제조	제조업
종목	기계부품가공, 기계제작	전자기기, 제어반자동
이메일	insungcfm@gmail.com	green7698@wooritg.com
이메일		

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-11-25	46,175,000	4,617,500	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
11	25	식물공장 시스템				46,175,000	4,617,500	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호: 20191227-10000000-92752180

· 전자세금계산서_일반

구분	항목	내용	항목	내용
공급자	등록번호	129-81-25000	종사업장 번호	
공급자	상호	주식회사인성테크	성명	김인수
공급자	사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
공급자	업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
공급자	이메일	insungcfm@gmail.com		
공급받는자	등록번호	180-66-00277	종사업장 번호	
공급받는자	상호	고려종합상사	성명	김유순
공급받는자	사업장	충청남도 천안시 동남구 천안천공원3길 5-31, 103동 805호(다가동, 서해그랑블아파트)		
공급받는자	업태	도소매	종목	사무기기
공급받는자	이메일	wongssang@koreatech.ac.kr		
공급받는자	이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-12-27	18,181,818	1,818,182	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
12	27	식물공장 시스템				18,181,818	1,818,182	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호: 20191226-10000000-92092864

· 전자세금계산서_일반

구분	항목	내용	항목	내용
공급자	등록번호	129-81-25000	종사업장 번호	
공급자	상호	주식회사인성테크	성명	김인수
공급자	사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
공급자	업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
공급자	이메일	insungcfm@gmail.com		
공급받는자	등록번호	508-82-06009	종사업장 번호	
공급받는자	상호	안동대학교산학협력단	성명	이혁재
공급받는자	사업장	경북 안동시 경동로 1375(송천동) 안동대학교		
공급받는자	업태	서비스	종목	연구및개발업
공급받는자	이메일	lincplus13@anu.ac.kr		
공급받는자	이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-12-26	18,000,000	1,800,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
12	26	양액제외PCB 외				18,000,000	1,800,000	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서 상세조회

승인번호: 20191224-10000000-90930033

· 전자세금계산서_일반

구분	항목	내용	항목	내용
공급자	등록번호	129-81-25000	종사업장 번호	
공급자	상호	주식회사인성테크	성명	김인수
공급자	사업장	경기도 용인시 처인구 남사면 상동로 39-3		
공급자	업태	제조	종목	기계부품가공, 기계제작
공급자	이메일	insungcfm@gmail.com		
공급받는자	등록번호	773-86-00704	종사업장 번호	
공급받는자	상호	(주)드림팩토리	성명	고은희,신범수
공급받는자	사업장	경기도 남양주시 진건읍 진건오남로 300, 2층		
공급받는자	업태	도매및소매업	종목	서적,잡지 및 신문
공급받는자	이메일	sbsboy@dreamfc.co.kr		
공급받는자	이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-12-24	11,926,216	1,192,622	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
12	24	식물공장 시스템				11,926,216	1,192,622	

수정발급 복사발급 닫기 XML파일내려받기 출력 출력(A5)

전자세금계산서

승인번호: 20191112-10000000-63538504

구분	항목	내용	항목	내용
공급자	등록번호	134-87-20367	종사업장 번호	
공급자	상호(법인명)	주식회사 [illegible]	성명	[illegible]
공급자	사업장 주소	서울특별시 강남구 선릉로111길 22-3(논현동)		
공급자	업태	서비스업	종목	소프트웨어개발,디자인개발
공급자	이메일	finance@nthing.net		
공급받는자	등록번호	776-88-01064	종사업장 번호	
공급받는자	상호(법인명)	주식회사 [illegible]	성명	[illegible]
공급받는자	사업장 주소	서울특별시 강북구 도봉로 52, 12층(미아동)		
공급받는자	업태	농업 외	종목	[illegible]
공급받는자	이메일	ehkim.yeoni@gmail.com		
공급받는자	이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유	비고
2019-11-12	1,660,000	166,000	해당없음	

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
11	12	재배기 컨트롤러		1	180,000	180,000	18,000	1CH
11	12	재배기 컨트롤러		2	240,000	480,000	48,000	4CH
11	12	무선 공조 센서		2	500,000	1,000,000	100,000	온도/습도/CO2

합계금액	현금	수표	어음	외상미수금	
1,826,000	1,826,000				이 금액을 (청구) 함

본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송 입력된 전자(세금)계산서 입니다.
발급사실 확인은 상기 홈페이지의 "조회/발급>전자세금계산서> 제3자 발급사실 조회 "를 이용하시기 바랍니다.

○ 고용 창출

구분	기관/기업	고용인원	비고
2018년	㈜인성테크	2명	연구개발보조인력
2018년	㈜엔씽	2명	연구개발인력
2019년	㈜디엠엘이디	1명	연구개발보조인력

○ 국내외 논문 게재

NO.	논문명	학술지명	주저자명	국명	발행기관	SCI여부	게재일
1	수중 박테리아 제거를 위한 상업용 여재의 특성 비교	한국수처리학회	김문주, 박성직	대한민국	한국수처리학회	비SCI	2018.02.28
2	열처리된 Attapulgite를 이용한 수중 불소의 흡착 제거 특성	한국수처리학회	서은진, 김문주, 박성직	대한민국	한국수처리학회	비SCI	2018.06.30

3	제올라이트의 양이온 교환 용량 및 용액의 화학적 특성에 따른 박테리아의 거동 특성 비교	한국수처리학회지	김문주, 박성직	대한민국	한국수처리학회	비SCI	2017.10.30
4	상업용 수처리 소재의 Cr(VI) 제거 비교 및 Ferox의 Cr(VI) 흡착 특성 규명	한국수처리학회지	서은진, 박성직	대한민국	한국수처리학회	비SCI	2019.02.28
5	Illite for the removal of E. coli by filtration in water treatment processes: a comparative study	Desalination and Water Treatment	김문주, 박성직	이탈이아	Desalination Publisher	SCI	2019.09.31
6	Adsorption of triclosan from aqueous solution onto char derived from palm kernel shell	Desalination and Water Treatment	Mutiara Triwiswara, 박성직	이탈이아	Desalination Publisher	SCI	2020.01 게재 예정

※ 논문 개제 확정은 되었지만 페이지 번호 미발급으로 Fris 시스템 등록 보류

Desalination and Water Treatment
www.deswater.com
doi: 10.5004/dwt.2020.24872
(2020) 1–9

Adsorption of triclosan from aqueous solution onto char derived from palm kernel shell

Mutiara Triwiswara[a], Chang-Gu Lee[b], Joon-Kwan Moon[c], Seong-Jik Park[d,*]

[a]*Department of Chemical Engineering, Hankyong National University, 327 Jungang-ro, Anseong, Gyeonggi-do, Republic of Korea, email: triwiswara@gmail.com*
[b]*Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University, 206 World cup-ro, Suwon, Gyeonggi-do, Republic of Korea, email: changgu@ajou.ac.kr (C.-G. Lee)*
[c]*Department of Plant and Environmental Science, Hankyong National University, 327 Jungang-ro, Anseong, Gyeonggi-do, Republic of Korea, email: jkmoon@hknu.ac.kr (J.-K. Moon)*
[d]*Department of Bioresources and Rural System Engineering, Hankyong National University, 327 Jungang-ro, Anseong, Gyeonggi-do, Republic of Korea, Tel. +82-31-670-5131; Fax: +82-31-670-5139; email: parkseongjik@hknu.ac.kr (S.-J. Park)*

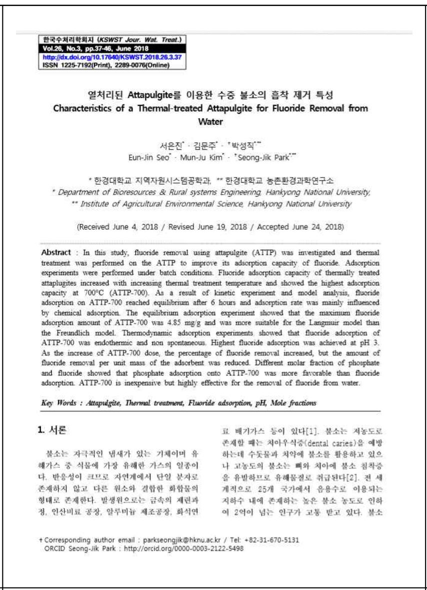
Received 9 May 2019; Accepted 8 September 2019

한국수처리학회지 (KSWST Jour. Wat. Treat.)
Vol.26, No.1, pp.15-26, February 2018
http://dx.doi.org/10.17640/KSWST.2018.26.1.15
ISSN 1225-7192(Print), 2289-0076(Online)

수중 박테리아 제거를 위한 상업용 여재의 특성 비교
Comparative Analysis of Commercial Filter Media for the Removal of Bacteria in Water

김문주* · †박성직*,**
Mun-Ju Kim* · †Seong-Jik Park*,**

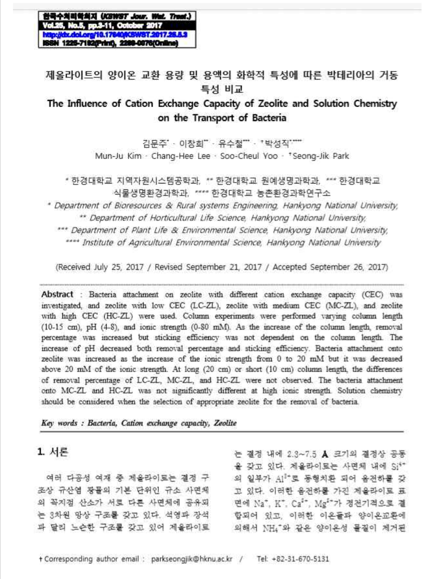
(Received November 14, 2017 / Revised February 1, 2018 / Accepted February 6, 2018)


한국수처리학회지 (KSWST Jour. Wat. Treat.)
Vol.26, No.3, pp.37-46, June 2018
http://dx.doi.org/10.17640/KSWST.2018.26.3.37
ISSN 1225-7192(Print), 2289-0076(Online)

열처리된 Attapulgite를 이용한 수중 불소의 흡착 제거 특성
Characteristics of a Thermal-treated Attapulgite for Fluoride Removal from Water

서은진* · 김문주* · †박성직*,**
Eun-Jin Seo* · Mun-Ju Kim* · †Seong-Jik Park*,**

(Received June 4, 2018 / Revised June 19, 2018 / Accepted June 24, 2018)


한국수처리학회지 (KSWST Jour. Wat. Treat.)
Vol.25, No.5, pp.3-11, October 2017
http://dx.doi.org/10.17640/KSWST.2017.25.5.3
ISSN 1225-7192(Print), 2289-0076(Online)

제올라이트의 양이온 교환 용량 및 용액의 화학적 특성에 따른 박테리아의 거동 특성 비교
The Influence of Cation Exchange Capacity of Zeolite and Solution Chemistry on the Transport of Bacteria

김문주* · 이창희** · 유수철*** · †박성직****
Mun-Ju Kim · Chang-Hee Lee · Soo-Cheul Yoo · †Seong-Jik Park

(Received July 25, 2017 / Revised September 21, 2017 / Accepted September 26, 2017)

한국수처리학회지 (KSWST Jour. Wat. Treat.)
Vol.27, No.1, pp.71-80, February 2019
http://dx.doi.org/10.17640/KSWST.2018.27.1.71
ISSN 1225-7192(Print), 2289-0076(Online)

상업용 수처리 소재의 Cr(VI) 제거 비교 및 Ferox의 Cr(VI) 흡착 특성 규명
Comparison of Commercial Filter Media for Cr(VI) Removal and Adsorption Characteristics of Cr(VI) onto Ferox

서은진* · Wai Zin Oo** · 홍승희* · †박성직*,***
Eun-Jin Seo* · Wai Zin Oo** · Seung-hee Hong* · †Seong-Jik Park*,***

(Received January 29, 2019 / Revised February 20, 2019 / Accepted February 25, 2019)

Desalination and Water Treatment
www.deswater.com
163 (2019) 270–280
September
doi: 10.5004/dwt.2019.24418

Illite for the removal of E. coli by filtration in water treatment processes: a comparative study

Mun-Ju Kim[a], Chang-Gu Lee[b], Chang-Hee Lee[c], Seong-Jik Park[a,*]

Received 28 January 2019; Accepted 14 May 2019

Desalination and Water Treatment
www.deswater.com
(2020) 1–9
doi: 10.5004/dwt.2020.24872

Adsorption of triclosan from aqueous solution onto char derived from palm kernel shell

Mutiara Triwiswara[a], Chang-Gu Lee[b], Joon-Kwan Moon[c], Seong-Jik Park[d,*]

Received 9 May 2019; Accepted 8 September 2019

○ 국내 및 국제학술회의 발표

NO.	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2018 한국 자원식물 학회 춘계발표대회	송태의, 김보미, 박성직, 문준관, 김인수, 구자준, 이창희	2018.04.26	서천 국립생태원	대한민국
2	2018 한국원예학회 임시총회 및 제109차 추계학술발표회 자료집	이창희, 송태의, 문준관, 박성직, 김진열, 김인수	2018.10.19	여수엑스포 컨벤션센터	대한민국

3	2019 한국원예학회 정기총회 및 제110차 춘계학술발표회 자료집	송태의, 문준관, 박성직, 김진열, 김인수, 이창희	2019.05	경주화백 컨벤션센터	대한민국
4	2019 한국원예학회 임시총회 및 제111차 추계학술발표회 자료집	송태의, 이혜미, 문준관, 박성직, 김인수, 이창희	2019.10	평창알펜시아 컨벤션센터	대한민국

○ 인력양성 - 한경대학교

제출용도 : 첨부용　　발급일 : 2020.01.15
제출처 : 농림부　　유효기간 : 2020.04.14

제 2020-0033404 호

학 위 수 여 예 정 증 명 서

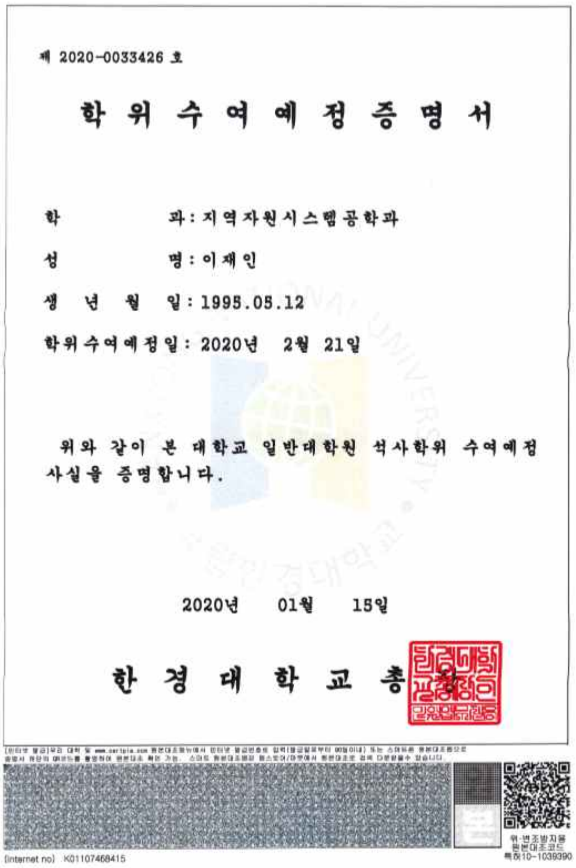
학　　　과 : 식물생명·원예학과
성　　　명 : 송태의
생 년 월 일 : 1992.05.15
학위수여예정일 : 2020년 2월 21일

위와 같이 본 대학교 일반대학원 석사학위 수여예정 사실을 증명합니다.

2020년 01월 15일

한 경 대 학 교 총 장

(internet no) 3123291063613488



제 2020-0033426 호

학 위 수 여 예 정 증 명 서

학　　　과 : 지역자원시스템공학과
성　　　명 : 이재인
생 년 월 일 : 1995.05.12
학위수여예정일 : 2020년 2월 21일

위와 같이 본 대학교 일반대학원 석사학위 수여예정 사실을 증명합니다.

2020년 01월 15일

한 경 대 학 교 총 장

[internet no] K01107468415

○ 홍보전시

순번	출 처	사 진	비고
1	매일경재		2017 첨단산업 과학기술대전 참가

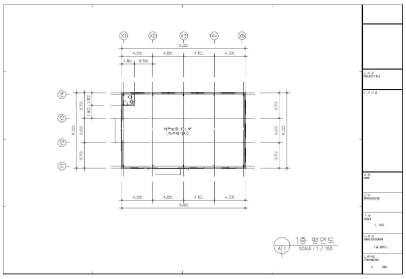
2	연합뉴스		2017 첨단산업 과학기술대전 참가
3	파이낸셜뉴스		2017 첨단산업 과학기술대전 참가
4	연합뉴스		2017 첨단산업 과학기술대전 참가

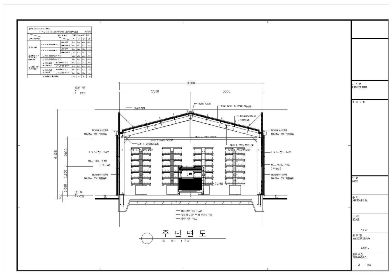
5	NEWS1	 '스마트한 재배시설'	2017 첨단산업 과학기술대전 참가

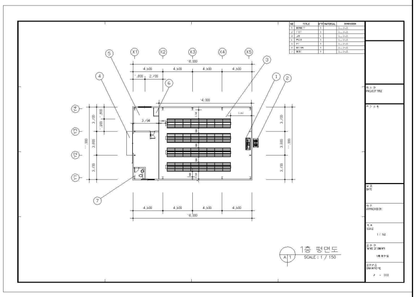
주　　　최	농림축산식품부
주　　　관	농림식품기술기획평가원
참 가 기 업	주식회사 인성테크
장　　　소	양재동at 센터(제1전시장)
참　　가　　사　　진	

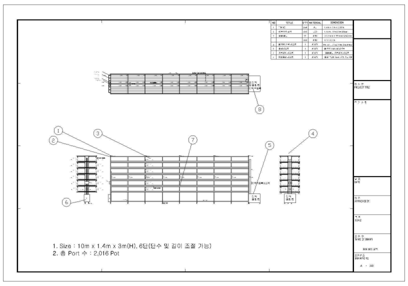
○ 기타 - 표준도면

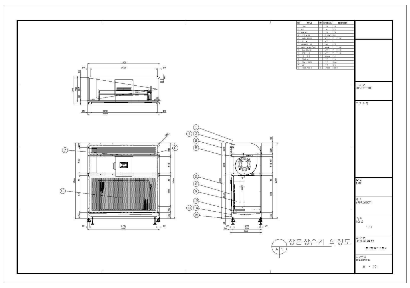
- 식물공장 시스템과 에너지 절감형 공조장치 설계 표준도면
- 식물공장 시스템과 저가형 공조장치 설계 표준도면

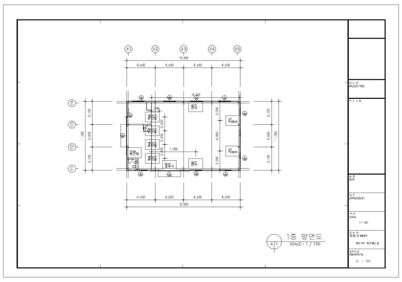








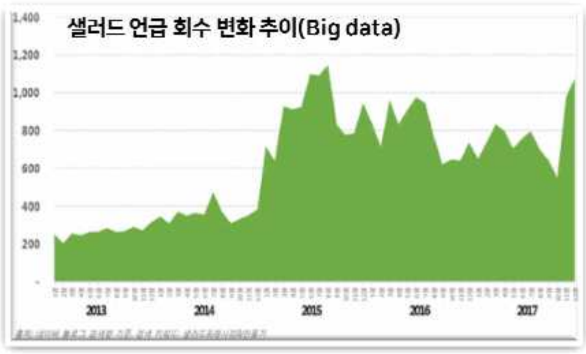


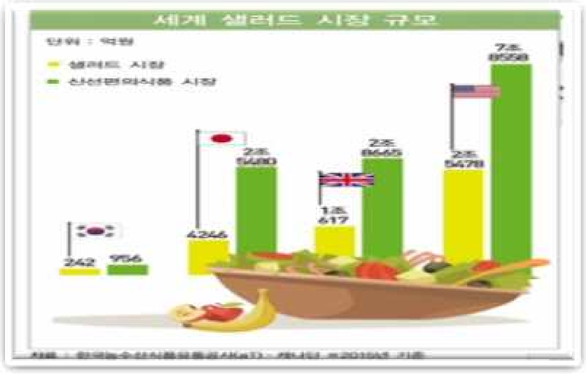


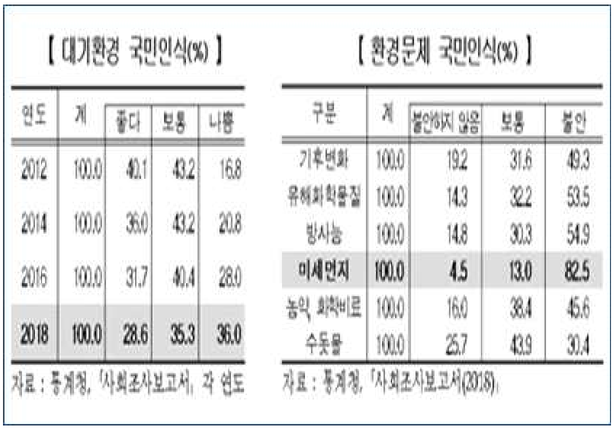
제2절. 연구개발결과에 따른 추가과제 도출

- ○ 식물공장 시스템을 적극적 활용한 신유통 체계 확립과 새로운 일자리 창출
- ○ 식물공장은 365일 환경을 제어 할 수 있으므로, 소비자 니즈에 맞는 작물을 재배하여 공급
- ○ 기능성 채소(케일, 샐러드채소) 또는, 대기 오염등으로 안정적인 먹거리에 대한 인식 증대
- ○ 식물재배와 집 안 텃밭을 연계할 수 있는 파생제품에 IT기술을 활용하여 ‘FUN’에 대한 요소 개발

(1) 국내 시장규모에 대한 추정







【 대기환경 국민인식(%) 】

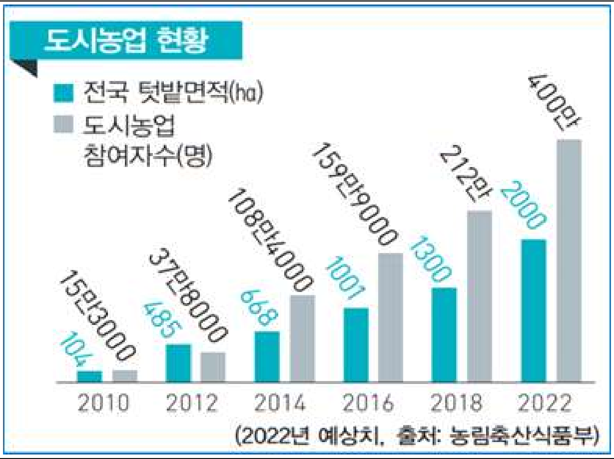
연도	계	좋다	보통	나쁨
2012	100.0	40.1	43.2	16.8
2014	100.0	36.0	43.2	20.8
2016	100.0	31.7	40.4	28.0
2018	100.0	28.6	35.3	36.0

자료 : 통계청, 「사회조사보고서」 각 연도

【 환경문제 국민인식(%) 】

구분	계	불안하지 않음	보통	불안
기후변화	100.0	19.2	31.6	49.3
유해화학물질	100.0	14.3	32.2	53.5
방사능	100.0	14.8	30.3	54.9
미세먼지	100.0	4.5	13.0	82.5
농약 화학비료	100.0	16.0	38.4	45.6
수돗물	100.0	25.7	43.9	30.4

자료 : 통계청, 「사회조사보고서(2018)」



※ 새로운 트렌드에 따른 새로운 서비스를 필요로 하는 지표들

(2) 새로운 유통체계를 위한 이동형 식물공장 시스템

[이동형 오프라인 식물공장 체험]

※ 이동하면서 소비자에게 채소를 납품하고, 활용 레시피 제공

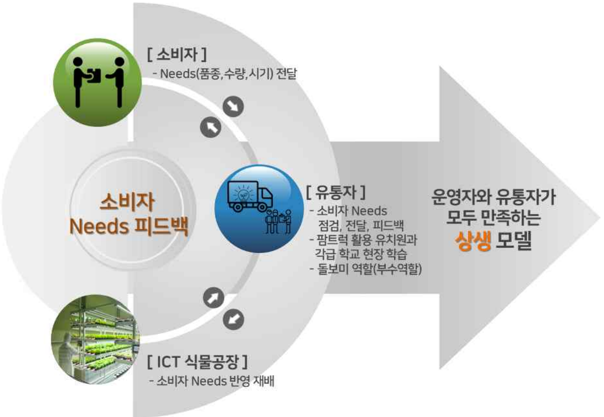
※ 어린이들에게 이동형 현장 체험 진행

※ 흔히 볼 수 있는 수평 재배베드에서 수직 재배베드의 변화로 작물에 제안적인 요인 제거

(3) 추가과제의 기대효과

○ 새로운 유통 체계로 인한 새로운 일자리 창출

○ 식물공장 채소의 유통 수요가 늘어남에 따른 신규 식물공장 개소 증대



제4장 연구결과의 활용 계획

제1절 연구개발 결과의 활용 방안

1. 연구개발결과의 활용 방안

○ 저비용•고효율 식물공장 재배시스템 초기 구축비용 단가 절감과 특허/실용신안 등록 및 논문, 학술 대회 발표 등의 학술적 성과를 바탕으로 응용 및 파생 기술의 개발 활동을 통해 과제성과를 확대해 나갈 예정.

○ 기술이전과 제품 양산화를 통해 국내와 국외 농가, 새로운 사업 분야에 시장 활성화 및 신기술을 통한 국가경쟁력 상승에 기여.

○ 실용성을 증대하기 위해 본 과제를 통한 각 관련 기업체뿐만 아니라 유통, 가공 등의 다양한 협력업체 확보

○ 시스템 별 모듈화 개선/개발을 통하여 보급형 식물공장 외에도 식물의 원물을 필요로 하는 원료 시장, 새로운 식문화 시장 등에 다양한 사업 분야로 확대 예정.

○ 재배 연구를 통하여 케일의 항암물질증가, 상추의 재배력 증가, 바질의 오일 추출물 증가와 같은 특정 물질의 상승으로 결과를 초래 하였으며 작물 재배를 통하여 건강한 식문화의 새로운 문화 활용

2. 기술개발 가능 수준

○ 주요부품의 확장성

- 재배프레임 조립 연결구/재배거터라인 조립 연결구/소형 양액제어 시스템 등 추후 제품의 확장성을 고려한 부품 제작
- 재배베드의 크기에 따른 다양한 형태의 시장에 대응 기술

○ 에너지 절감형 공조장치

- 3WAY 밸브를 이용한 폐열 회수로 인한 에너지 절감 기술개발
- BLDC 모터를 활용하여 가변제어를 통한 에너지절감형 항온항습기 기술개발

○ 스마트폰 재배 관리 플랫폼 기술

- 실질적 모델화 구축을 통하여 내구성, 데이터 수집능력 등을 분석과 평가
- 사용자의 조작 편의성 데이터 수집으로 인하여 작물별 일정 조건 적용 기술 개발

○ 인공광원의 확장성

- Heatsink는 양산 제품 발열양에 3배에 다라는 방열 설계로 기구 제작
- Heatsink와 LED 패키지 PCB의 분리로 향후 LED 패키지의 기술 발전이나 양산형 파장 외 다른 파장을 원할 경우 LED 패키지 PCB 교체만으로 가능한 기구 제작

3. 기술개발의 산업화와 실용화 가능성

○ 양산개발 전략방향

- 신규 개발을 포함하여 기능 개선을 통한 양산 체계를 구축하여 사업화에 바로 이용 될 수 있도록 모듈 제작/설계
- Baseplatfoam 형태로 시스템별 구성하며 재배베드의 교체만으로 다양한 형태의 식물공장 시스템이 구성 되도록 개발

- 환경제어 시스템 외에 재배베드의 경우 주요부품의 개선으로 과제가 완료되는 시점이나 중간 결과물에 의한 조기 실용화가 가능하도록 개발

- 국•내외 실정과 구매 경향에 적합한 제품과 보급형 제품에 초점을 두고 영업과 생산전략 수립

○ 모듈 양산화 전략방향

- 개발 : 식물공장 재배베드의 시스템 별 개발 / 환경 제어 시스템 중 공조 장치와 재배 관리 플랫폼 기술 개발
- 등록 : 국내 특허출원•등록과 실용신안 출원, 전자 인증
- 판매 : 국내 판매를 통한 내수시장 활성화와 해외 시장 진출을 통한 외화유치
- 정책 : 본 시스템 개발을 통하여 보급형 시스템으로 공동이용 활성화 정책을 고려

제2절 기대성과와 파급효과

1. 기술적 측면

○ 재배 시스템 별 개발로 인하여 다양한 형태의 제품 개발의 응용 할 수 있어 카페, 레스토랑, 쇼셜, 가정에 맞는 현장에 맞춤형 재배베드 구조 설계/제작 가능

○ 에너지절감형 항온항습기 개발을 통해 식물공장 사업 분야의 신규시장 장출 및 데이터센터, 식품제조, 바이오 등의 제습공조 사업 창출 기대

○ 모듈형 센서 및 모니터링 플랫폼을 활용하여 필수 환경 수집 데이터를 확인하고, 관제시스템을 적용하여 실시간으로 제공 받은 데이터를 통하여 농작물의 생산량 증대, 지출 감소 기대 또한, 해외 수출 기대

○ 밀폐 구조의 환경제어를 통하여 계획적이며 안전하게 식물재배가 가능하며, 양액 재배 기술력 확보로 기능성 작물의 활용성 기대

2. 경제적▪산업적 측면

○ 고령화 사회진출을 앞둔 우리나라 실정상 새로운 시니어 일자리 문제를 해소 할 것으로 기대

○ 청년은 식물공장 채소라는 새로운 장르를 가지고 새로운 직업군을 가지고 농업 유통

발전에 기여 할 것으로 기대

○ 시니어와 청년 간에 일자리 창출로 인한 산업적으로 각자의 역할에 대한 모델 발굴과 확산 기대
○ 파생 제품 기술개발로 인하여 식문화와 어울리는 새로운 장비 개발로 인하여 새로운 식문화에 대한 기대

○ 환경제어 기술을 이용한 재배기술로 인한 안정적인 재배작물 생산과 쾌적한 작업 환경 개선을 통한 수익 증대 기대

○ 농업장비 제조업체의 경영을 안정화시켜 국내 농업에 필요한 부분을 지속적인 공급과 다양한 재배베드 개발로 인하여 농어발전에 기여함

○ 기업체의 추가 매출 기여가 예상되며, 이런 수익성 향상은 기업체의 기술투자의 여력이 발생하여 지속적인 기술개발로 인한 해외 제품과의 경쟁력 재고에 기여

3. 산업화를 통한 기대효과

(단위 : 백만원)

산업화기준 / 항목	과제 종료후 1차년도	과제 종료후 2차년도	과제 종료후 3차년도	과제 종료후 4차년도	과제 종료후 5차년도	계
경제효과	1,500	3,000	4,500	6,000	8,000	23,000
파급효과	1,800	3,600	5,400	7,200	9,600	27,600
부가가치 창출	2,100	4,200	6,300	8,400	11,200	32,200
합 계	5,400	10,800	16,200	21,600	28,800	82,800

※ 경제효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 제품의 매출액 추정치
※ 파급효과 : 본 과제 개발기술의 산업화를 통한 파생되는 제품에 대한 추정치 직접 매출의 120%로 추정
※ 부가가치 창출 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 수출효과, 브랜드가치 등 추정치 직접 매출의 140%로 추정

4. 사회적 측면

○ 최근 급속히 나빠지고 있는 대기 오염으로 인하여 식문화에 불안감으로 안정적인 먹거리에 대한 제공으로 불안감 해소

○ 전문 농업 생산 인력이 아니여도 농업에 접근 할 수 있는 도시농업과 농업 활성화에 기여

○ 가정에서 쉽게 접할 수 있는 소형 재배기기 라인업으로 사회적 여가 활동 개선에 기여 예상

○ 매스컴 홍보를 이용하여 국내 농업기술 발전과 우수성을 전파하고 이를 통한 농업 이미지 향상과 인식 전환 가능

○ 초기 투자비 절감에 대한 내용을 홍보를 통해 농업 발전에 기여

제3절 사업화 계획

가. BM 수립 배경

○ 화학제품에 대한 불안 및 대기오염 등으로 먹거리 안전에 대한 소비자의 관심이 높아짐으로 인해 가정에서 직접 채소류를 재배하여 소비하려는 수요가 높아지고 있음. 또한, 가정 내에 녹색공간을 도입함으로써 정서함양은 물론 채소 재배과정에서 발생되는 산소 및 습도를 이용한 실내공기 정화 및 LED 조명을 이용한 인테리어 효과도 얻을 수 있음.

○ IOT 기술과 수직 수경재배 시스템의 접목으로 인하여 각 가정에서 재배하는 작물에 대한 환경(온도, 습도, 양분관리, 급수 관리) 빅데이터를 통한 원격 농업 시설 물 및 식물공장 재배가 가능 할 수 있음.

나. BM 목표 및 핵심경쟁요인

(1) BM 목표

○ 추진 목표 : 식물공장 채소 활성화를 위한 IOT기술을 활용한 아파트 형 수직 수경재배기 활용

(2) 핵심경쟁요인

○ 재배 자동화 시스템

- 본 시스템은 재배지식이 없는 일반인들도 손쉽게 채소를 생산하여 먹을 수 있도록 모든 재배과정을 자동/수동으로 조절

  - 양액 자동투입 시스템
  - LED을 이용한 인공광원 시스템
  - 양액관리 시스템

○ 수직구조 재배 시스템

- 수직 구조로 아파트 내에 공간차지를 최소화 할 수 있으며, 라인별 개별로 두어 서로 다른 환경의 식물을 재배 할 때 양액 공급을 조절 할 수 있어야 함.

○ 제품 디자인

- 본 시스템은 아파트 내 가정에서 사용하는 것으로 인테리어 개념이 적용되어야 하며, 또한 소형이어야 함

○ 재배데이터 수집을 위한 엑츄에이터

- 식물 별 재배 되는 온도, 습도, 양액 수치, 급수 주기 등을 엑츄에이터를 통하여, 서버로 데이터를 수집하여야 함. 또한, 엑츄에이터를 통하여 스마트 폰 혹은 앱을 활용하여 라인 별 급수 주기 및 LED의 점등 시간을 자동/수동으로 조절 할 수 있어야 함.

다. 목표 시장 구조

○ 경쟁기업 현황

- 경쟁기업 현황

□ 국내

- 국내 식물재배시스템은 크게 가정용 재배기 및 식물재배시스템으로 나눌 수 있음.
- 가정용 재배기의 경우 양액공급 시스템만을 구비하는 경우와 LED를 장착하여 인공 광원을 조사하는 방식이 있음.

□ 국외

- 식물공장 산업이 발달한 일본에서도 이전부터 가정용에 설치가능한 소형 식물공장에 대한 연구 및 개발이 진행되어 왔으며, 몇몇 제품들이 출시 되어 있음. 한국과 마찬가지로 일본 또한 재배기와 식물공장의 구분이 명확하지 않으며 아직 대중적으로 판매되고 있지는 않음.

○ 현장보급형 식물공장 생산시스템 기술개발 과제를 통하여 재배 시스템 군의 다양화 및 아파트 주민을 대상으로 소형화 제품을 보급하면, 자연 적으로 보급형 식물공장에서 재배 되는 작물의 새로운 유통구조가 나오며, ICT 기술을 접목하며 재배기 내에서 직접 광, 급수 등을 제어, 커뮤니티 형성, 육묘 주문시스템으로 인한 재미 증대 가능.

○ 경쟁구조

- 소형화 제품의 경쟁력

- 식물재배에 필요한 요소기술의 소형화 제품에 적용하여 누구나 쉽게 키울 수 있도록 제품경쟁력 강화
- 계획 및 안정적으로 생산 할 수 있는 대형 식물공장 투자비
- 식물을 계획적/안정적으로 재배 할 수 있는 대형 식물공장의 보유 및 협력 체계
- 소비자들의 인식 변화 및 인지도
- 렌탈 서비스를 통한 소비자들의 부담 감소

- 안전한 먹거리에 대한 소비자의 인식 변화
- 소형 LED 재배기의 사후 관리 서비스 편리화

○ 시장진입 장벽

- 투입자본

- 소형 LED 수직 재배기의 제품화를 위한 표준화 및 금형화 작업

○ 유통경로

- 지역 별 대형 식물공장의 구축

○ 수익 구조 및 소비자들의 인지도

- 장비의 렌탈 서비스 및 재배 작물 판매를 위한 프로세스 구축

라. 수익 확보 전략

○ 주요 고객군

- 아파트 건설사(삼성물산, 현대건설, 우미건설 등)
- 국내 아파트 주거 공간 내 적용 가능
- 제품의 소형화로 인한 해외 수출 가능

○ BM의 수익창출 방안

- 현장보급형 식물공장 생산시스템 기술개발로 인한 조립구조 개선, 소형 양액제어 시스템, 센싱 기술의 응용 개발 기술을 통하여, 소형 제품에 접목을 제품화

- 고객들은 원하는 작물을 계절과 상관없이 재배 가능, 직접 키워 먹는 안전한 먹거리 문화에 대한 인식

- : 소형 제품의 렌탈 방식과 고객들이 원하는 작물을 생산/배송 서비스로 인한 수익 창출

구분		비용(원)	비고
●지출	●초기설치비 및 자본	150,000,000	식물 생산기지 165㎡ 기준 ㎡당 910,000 원
●월비용	●전력비	15,000,000	- 농업용 전기 기준 - 년 사용량 기준
	●수도/양액비료비	2,000,000	- 년 사용량 기준
	●종자비	2,400,000	- 년 사용량 기준
	●기타자재비	1,200,000	- 년 사용량
	●인건비	31,718,400	직원 1명(관리인원), 종자 심고 수확 시 파트타임 2명
	판매비용	3,000,000	
	감가상각비	15,000,000	10년 기준
	임대료	0	땅 임대시
	비용합계	70,318,400	
수익(월)	판매수익	160,00,000	6.5만주*2,500원(100% 판매조건)
영업이익(월)		89,681,600	

※ 직원 총 1명 운영(정직 1명, 파트타임 2 명)
※ 전량 계약재배를 통해서 100% 판매조건
※ 샐러드 품종에 대한 생물 판매
※ 안정적 생산기술을 통한 평균 일정 단가 유지와 깨끗한 먹거리에 대한 중점

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.